无线电

1955年创刊 www.radio.com.cn 邮发代号：2-75 国外代号：M106

2009年合订本

上

《无线电》编辑部 编

本书附赠双光盘

《数码相机维修实战技术》视频教程完整版
单片机源程序、印制电路板图等

2009年第1期～第6期

栏目：特别策划 | 音频应用 | 广播爱好者 | 火腿通信 | 测试测量 | 玩转单片机 | 实用电路制作 | 维修帮手 | 初学者园地

享受广播 - TECSUN
Enjoy broadcasting

TECSUN
德生牌收音机
中国驰名商标

因为梦着你的梦……

……一群广播爱好者为众多广播爱好者精心打造的收音机！

S-2000 & PL-600

www.tecsun.com.cn

东莞市德生通用电器制造有限公司 公司与工厂地址：中国广东省东莞市东城区莞长路189号德生大楼 邮编：523071 电话：0769-23167118 传真：0769-23160700

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

无线电

Radio.com.cn

发烧音响制作　业余电台通信
开发实验维修　趣味基础入门

每期定价：10元
全年订阅：120元
邮发代号：2-75

欢迎订阅
《无线电》杂志

订阅方式：

1. 各地邮局均可订阅，收订热线：11185
2. 汇款到本杂志社订阅

邮局汇款：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志（100061），收款人：《无线电》杂志
银行转账：户名：北京邮电图书总公司　　开户行：工行北京体育馆路支行
账号：0200008109022100111（请在附言栏注明邮编、地址、电话、姓名及杂志名称）

3. 24小时网上订阅：bk.chinapost.com.cn（客服电话：400-6611185）
4. 杂志社咨询电话：010-67134361

人民邮电出版社 POSTS & TELECOM PRESS

ISBN 978-7-115-21787-5

ISBN 978-7-115-21787-5

定价:40.00元(附2张光盘)

无线电合订本

2009年（上）

《无线电》编辑部　编

人民邮电出版社
样书
专用章

人民邮电出版社
北京

图书在版编目（CIP）数据

《无线电》合订本. 2009年. 上 / 《无线电》编辑部编. -- 北京 : 人民邮电出版社, 2010.1
ISBN 978-7-115-21787-5

Ⅰ. ①无… Ⅱ. ①无… Ⅲ. ①无线电技术－2009－丛刊 Ⅳ. ①TN014-55

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第216727号

内 容 提 要

《无线电》合订本 2009 年（上）囊括了《无线电》杂志 2009 年第 1 ~ 6 期所有栏目的全部内容，并经过了再次加工整理，按期号、栏目、专题、连载系列等重新分类编排，以方便读者阅读。

随书附赠《数码相机维修实战技术——基础篇》、《数码相机维修实战技术——高级篇》双光盘，光盘中还收录了与文章相关的印制电路板图、电路原理图、源程序等。

本书内容信息量大，涉及电子技术广泛，文章精炼，技巧经验丰富，实用性强，适合广大电子爱好者、电子技术人员、家电维修人员阅读。

《无线电》合订本 2009 年（上）

◆ 编　　《无线电》编辑部
责任编辑　房　桦　尹　飞　邓　晨

◆ 人民邮电出版社出版发行　北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编　100061　电子函件　315@ptpress.com.cn
网址　http://www.ptpress.com.cn
北京鑫正大印刷有限公司印刷

◆ 开本：787×1092　1/16
印张：35.75
字数：1 164 千字　2010 年 1 月第 1 版
印数：1 – 9 000 册　2010 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-21787-5

定价：40.00 元（附 2 张光盘）

读者服务热线：(010)67132837　印装质量热线：(010)67129223
反盗版热线：(010)67171154
广告经营许可证：京崇工商广字第 0021 号

无线电

2009年合订本（上）

CONTENTS 目录

特别策划

手电专题

我的爱好我做主——手电记录 宋思源（001）

手电的灵魂——发光体 宋思源（003）

小小电路有乾坤——手电驱动电路 宋思源（006）

手电光斑的精髓——二次光学元件 宋思源（009）

手电的动力——供电系统 宋思源（011）

不可小视的手电开关 宋思源（013）

浅谈手电的制造 宋思源（014）

手电实战测试 宋思源（016）

国内外手电品牌纵览 宋思源（019）

LED 进化史 杜洋（020）

时间频率专题

如何建立自己的时间和频率标准 张利民（BG2VO）（027）

时间频率标准必备知识点 张利民（BG2VO）（028）

常见的频率比较仪器——频率计 张利民（BG2VO）（029）

为自己选择一个合适的时间频率标准 张利民（BG2VO）（031）

频率测量的方法 张利民（BG2VO）（034）

丰富而独特的时间显示方法 张利民（BG2VO）（036）

51 单片机开发实验板横评专题

选你所需 无线电实验室（038）

晶控电子 51 综合实验板 无线电实验室（039）

星研 STAR-MT51 无线电实验室（042）

爱因 AY-USB51F 无线电实验室（044）

强联 WS9700U 无线电实验室（046）

评测横向对比总结 无线电实验室（048）

音频应用

《无线电》与中国音响 DIY 联合举办的第七届音响制作比赛圆满结束 编辑部（050）

第七届音响制作比赛参赛作品选登

一款改进型纯后级甲类功放的设计与制作 张安聚（052）

初试 8 分时并联 DAC 吴巍（056）

超平衡耳放的设计与制作 吴自文（061）

平衡式 2.1 声道桌面功放的制作☆ 吴自文（064）

我依然爱你——1875 夏盛（068）

为圆孩时的梦——JADIS 经典电路的仿制 天鸿（070）

DTS 解码 & 卡拉 OK 混响前级的设计与制作 杨盛东（073）

全手工打造的 10 英寸全频扬声器 文贤（077）

自己动手制作耳机

——手工打造动圈耳机单元的尝试 倪文贤（079）

——动圈耳机单元的改良 倪文贤（082）

——把改良的动圈单元做成一副耳机 倪文贤（085）

一款三分频高保真土炮音箱的设计与制作 okra（088）

迷你型胆石机制作 5670+LM1875 晴风雨（093）

用 TDA1554Q 搭焊小型功放 沙伟航（096）

用普通 MF 万用表快速筛选配对晶体管 吴润照（097）

2008 年广州音响 DIY 交流会专题报道 本刊记者 邓晨（098）

重拾 LM1876 制作小型功放 语蓝（102）

高保真“可变声道”功放初探 吴刚（武汉）（105）

一款为书架箱设计的“胆味”晶体管功放☆ 魏涛（110）

可平衡 BTL 桥接合并功放的制作 原声电子（116）

一款大功率 T 类功放板的制作 游宇兵（120）

用 PCM1738 制作小巧的音频解码器 语蓝（123）

电脑功放组装手记 吴玥（126）

用电池供电的话筒放大器 姜韬（131）

用 LME49810 制作高性能功率放大器 李宏伟（133）

用电子管和 LM1875 制作靓声小功放 何立基（138）

一款实用的功放保护电路 陈吹信（139）

2009年合订本（上）目录

CONTENTS

LM4780 的同门兄弟——LM4732 梓门（140）

一款“混合型”小功放的设计与制作 何立基（144）

智能风冷散热器的制作 林芝松（146）

“乌鸦变凤凰”——用废旧材料打造 MP3 音乐盒 姚宗栋（148）

性能优良的多媒体数字功率放大器的设计与制作 魏坤（150）

广播爱好者

巅峰的高度——德生 S-2000 准专业级收音机评测 黄平（155）

巧用收音机作 MP3 扩音器 孙永峰（159）

看看具有应急功能的收音机 红色电波（160）

我与收音机的故事

德劲 DE1123 DSP 全波段收音机测评 赵昶（162）

TECSUN PL-600 便携式收音机介绍 黄平（164）

知识介绍 浅谈收音机有源天线 xyz（167）

手摇发电过猛出现的意外 红色电波（168）

给德生 R-9700DX 收音机增加延时关机功能 红色电波（169）

德生 S-2000 收音机电路简析（一） 红色电波（173）

德生 S-2000 收音机电路简析（二） 红色电波（177）

根德牌 S350 型 BCL 收音机（1） 红色电波（180）

三款数字调谐电视伴音收音机横向对比 黄平（184）

根德牌 S350 型 BCL 收音机（2） 红色电波（187）

耳听为实——为收音机选配一款入门耳塞 黄平（189）

火腿通信

走近 EME 通信试验（上篇） 吴国光（BA7IA）（192）

走近 EME 通信试验（下篇） 吴国光（BA7IA）（196）

如何选购二手驻波比表 聆听（200）

ICOM IC-7000 功能细说 杨法（BD4AAF）（203）

图解手机火腿铃声 DIY 阮东升（BA6QH）（208）

YAESU VX-8R 零距离全接触 杨法（BD4AAF）（210）

巾帼不让须眉——中国业余无线电界的女“火腿” 焦亮梅（BD1AYL）（214）

细说 VX-8R 之蓝牙应用 杨法（BD4AAF）（216）

传输线巴伦的制作与测试 刘辉（BG1LQX）（219）

什么是业余无线电卫星通信 吴国光（BA7IA）（222）

Motorola“军刀”对讲机漫谈 杨法（BD4AAF）（226）

实测 ICOM IC-U82 杨法（BD4AAF）（229）

CG202A 天线调谐器试用报告 杨法（BD4AAF）（232）

业余无线电卫星通信必备器材 吴国光（BA7IA）（236）

如何进行业余无线电卫星通信 吴国光（BA7IA）（240）

二手射频功率计的选购 聆听（243）

二手无线电综合测试仪选购指南 聆听（246）

业余无线电，玩的不仅是“无线电” 张峥（BG8SF）（251）

火腿操作入门

用手台实现远程通联 方明（BA6AA）（253）

手台使用进阶必备 方明（BA6AA）（256）

车台使用进阶必备 方明（BA6AA）（259）

车载短波电台进阶 方明（BA6AA）（262）

基地台接收操作进阶 方明（BA6AA）（266）

基地台的认知和安装 方明（BA6AA）（269）

天线制作十二款

一个小时可以做成的 UHF 波段天线 刘和平（BD1HP）（273）

便于在阳台安装的 10m 波段天线 朱轩（BH4RCI）（275）

天线小知识 刘和平（BD1HP）（276）

5 波段偶极天线制作详解 刘燕北（BD2BH）（277）

HAM 关注的几大国际赛事 曹文隆（BA3AG）（279）

VHF/UHF 双波段超级 J 型天线 刘燕北（BD2BH）（280）

便携式“双 T”垂直偶极天线 刘燕北（BD2BH）（282）

不用天调的多波段温顿天线 刘燕北（BD2BH）（285）

测试测量

实用的电池内阻测试仪☆ 吴汉清（288）

可测量液体温度的数显温度计☆ 刘作新（292）

数字示波器 DIY 专题

因有一只鞍而买一匹马 魏坤（295）

做个数字示波器难吗？——系统综述 魏坤（297）

电路才是“硬”道理——硬件电路简述 魏坤（300）

2009年合订本（上）目录

CONTENTS

给你的电路注入灵魂——程序设计 魏坤（308）

神形合一，让你的示波器动起来！——制作调试篇 魏坤（314）

示波器使用三板斧（三）——测量 MP3、MP4、MP5 篇 黄勇 葛中海（321）

三种音响电源的对比测试 牛歌（325）

电动车蓄电池容量测量仪☆ 吴汉清（332）

电路板雕刻经验与技巧 周宝善（334）

用虚拟示波器调试红外收发电路 陈庚（338）

测试展台 资料室（340）

法拉第电磁感应定量测试仪☆ 殷建彬（341）

数字示波器使用技巧

如何捕捉非周期性突发脉冲信号 凌锋（344）

如何捕捉和重现稍纵即逝的红外发射信号 周春艳（346）

用数字存储示波器测量直流电源参数 凌锋（348）

用电脑直接获取数字存储示波器图形的方法 黄培根 周春艳（350）

测试展台 Agilent U1600A 系列手持式数字示波器 资料室（352）

电脑变示波器——新一代虚拟测试系统（1） 王洪伟（353）

测试展台 安泰信 ADS1000CE 系列数字示波器 资料室（355）

电脑变示波器——新一代虚拟测试系统（2） 王洪伟（356）

电脑变示波器——新一代虚拟测试系统（3） 王洪伟（361）

测试展台 吉时利推出 50MHz 任意波形/函数发生器 资料室（365）

示波器在电子制作中的应用

声光控开关的制作与检测 杜玲安 葛中海（366）

玩转单片机

试玩 PIC12F675 单片机手记 吴红奎（368）

做一个有趣的触摸屏鼠标 张科 谢丽华（372）

精确把握 DS18B20 读写时序延长连接距离 莫秋元（376）

机器车制作三部曲 宋泽清（379）

认识智能救援车 宋泽清（381）

打造最小系统平台 宋泽清（384）

灵活避障 快速循迹☆ 宋泽清（386）

让救援车探测和搬运金属 宋泽清（388）

用 DS12887 制作无电源仍可走时的时钟☆ 李海秋（390）

让救援车学会说话☆ 宋泽清（393）

里程、角度、温度测量篇☆ 宋泽清（395）

无线发射、接收篇☆ 宋泽清（397）

简单程序打造“山寨”版机器手☆ 余俊杰（399）

机动车尾号限行提示器 刘世泉（403）

数码管和点阵 LED 的动态扫描方法☆ 何海滨（405）

可编程定时放音电子礼物☆ 杨德富（407）

语音温度计☆ 胡静波（409）

盛群半导体新推出新一代音乐微控制器 资料室（411）

经济高效的入门级 8 位微控制器 SE8 资料室（411）

智能节水 抵御干旱 ——单片机控制的灌溉系统☆ 吴岭清等（412）

单片机开发工具 DIY

用三星手机数据传输线改制 STC 单片机编程线 徐延军（414）

不会莫尔斯电码也能发报——易做易用的莫尔斯电码自动发生器 卫小鲁（BH7PCK）（415）

年误差小于 1 分钟的电子钟☆ 刘作新（419）

古老与现代科技的结合——辉光电子管时钟 胡金祥（422）

遥控调光无极限 点亮台灯每一天 胡康（425）

硬盘时钟实作手记☆ 周正华（430）

美观与实用的结合——能“变频”显示的电子钟台灯☆ 胡康（434）

断电后还能运行的多时段开关定时器 秦新月（441）

Microchip 推出低休眠电流的 nanoWatt XLP™ 系列单片机 资料室（443）

实用电路制作

为电动车铅酸电池充电器加个智能定时插座 李胜（444）

简单有效的 LED 照明驱动电路 董永军 徐明奇 张雪明（446）

单颗 LED 大功率手电筒的制作 吴晓燕（448）

用 GSM 短信遥控模块制作家居安防报警器☆ 苏林 许岩（450）

单线进出多功能电子开关自制方案☆ 杜灿鸿（454）
巧用 315MHz 收发模块制作简易无线鼠标☆ 刘亮（457）
8×32 LED 点阵电子钟的制作☆ 叶士良（460）
功率三极管封装图说 吴红奎（462）
数码相框也能自己做☆ 张彬杰（465）
一款实用的煤气报警器电路 张全威（467）
普通饮水机的“节电、健康化”改造 滕今朝（469）
适合听力障碍朋友使用的闪光电子门铃和闪光电子闹钟 梁政（471）
精致的 MP3 音频转发器 任杰（474）
实用的数字式温湿度测量电路☆ 苏林 魏五星（476）
利用定时模块制作定时开关插座 徐江伟（478）
0～30V 可调电源的制作☆ 叶士良（480）
简单实用的电脑遥控接收器 潘邦文（483）

维修帮手

学修电磁多功能泡茶炉 林芝松（484）
非接触式 IC 卡的维修 施红武（490）
巧换手机电池芯 刘福胜（491）
自己动手检修微型无线遥控玩具汽车的小故障 韩军春（492）
电动车无刷电机控制器基本原理及维修要点 贲礼进（495）
格兰仕微波炉维修三例 陈清友（498）
自己动手修电动车充电器 段丽红 张兰家（499）
防止紫砂饭煲紫砂胆易裂的有效方法 黄大立（500）
妙用 ET521A 示波表检测行输出变压器 董灵江（501）
实测关键点快速检修诺亚舟 韩军春（502）
因消磁电阻损坏而引起的彩显故障维修二例 郭学提（502）
自己动手检修抽油烟机 王绍华（503）
笔记本电源适配器检修 闽溯 倪耀成（504）
自己动手检修微波炉 韩军春 宋海红（505）
用伊万 ET521 型示波表检修彩电疑难故障 雷钟（510）
自制吸锡电烙铁头 孙永峰（511）
电磁炉的故障检修四例 孙洋（512）
尚朋堂电磁炉维修实例 杨舟成（513）
怎样对付虚焊 李法资 段丽红（514）
问与答（515）
问与答（516）
问与答（517）
问与答（518）
问与答（519）
问与答（520）

初学者园地

电子制作必备技能

焊接其实并不难 张晓东（521）
适合初学者的印制电路板制作方法 张晓东（525）
选对“洞洞板”焊电路 江肖（548）
电子 DIY 实用技巧集锦 张晓东（529）
简单实用的熔断器监测电路 茅凌云（524）

零起步学无线电收发

从矿石收音机认识谐振 门宏（532）
从等幅波发射机认识振荡与发射 门宏（535）
从高频信号发生器看调幅信号的发射与接收 门宏（538）
调频信号的发射与接收 门宏（542）
数字信号的发射与接收 门宏（545）
与初学者谈谈焊接用料 张晓东（550）
更具活力的 BEAM 机器人 王宇航（554）
元件小知识 电容器 ——摘自《从零起步学电子》（555）
自制一款有趣的激光传声器 甯青松 杨振 马小龙（556）
自制固态继电器 任杰（558）
适合初学者制作的 5W 线性电源 yeah（559）

常用元器件的识别与使用

小小电阻学问大 张晓东（560）

活动报道

江苏省业余无线电应急通信演练成功举办 陈方（BA4RC）（287）

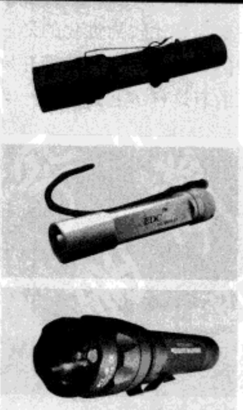
加☆表示配书光盘中有与该文章相关的文件

PDG

作者自介

宋思源，网名“扎西德勒”，资深“筒友”，涉足手电此道多年，玩筒子无数，凡LED、光杯、筒身、开关设计皆有所详。数年来得以亲试数筒，辨其妙处，历历如指诸掌也。技术深厚，善于改装，勤于笔耕，国内手电论坛系统精华帖第一人。为人谦和温厚，乐于助人，道上兄弟凡有识得者，皆尊称一句“老扎”。

我的爱好我做主
——手电记录

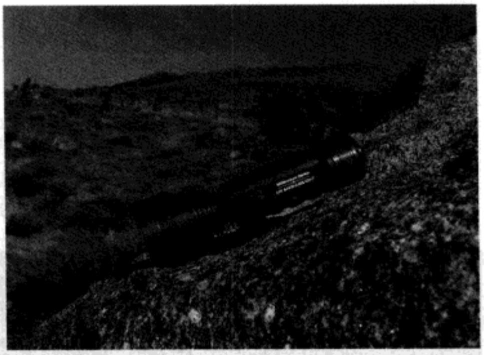


为什么这么喜欢手电，并且很仔细地研究，甚至到达发烧的程度？

爱好，对！就是简单的爱好。或者这样的回答有些牵强，或者这样的回答是在打发一些人的好奇，但是我依然继续着这样的回答。生活很多时候是枯燥的，而爱好则在业余的时间给人很多的快乐。就像有人喜欢听歌，对HIFI设备发烧；有人喜欢摄影，对相机发烧一样，也有着这样的一群人因喜欢手电而对手电发烧。

我对于手电的理解是，它是一种机械与电子的结合体，同样也是一种技术与艺术的混血儿。我对于摄影的理解就是技术与艺术结合的最典型代表，在摄影技巧与摄影器材技术支持下表达着艺术的美感。而手电也一样，只是较少被大众所了解。在技术方面或许你很难想象一个小小的手电筒里面会藏着那么多的高技术，比如现实应用中最高的光电转换率的发光体，比如钛等航天级材料，比如五轴联动加工中心的加工工艺，甚至蓝宝石镜片，甚至驱动软件。当你熟悉手电之后，你会惊讶现在科技的发展程度，一个小小的手电里面居然可以“藏龙卧虎”，也会惊讶一个只比你食指大一点的手电发出的光线甚至比一些汽车的大灯还要亮，而就是这样的一个小手电完全能够完成整个房间的照明。最重要的是随着现在LED技术的突飞猛进，未来的手电会越来越省电，越来越亮，当然体积也会越来越小。而在艺术方面，当你看到图片的时候会感慨现在的工业设计，在细致的加工工艺的支持下，手电在某种角度上甚至有着很大的收藏价值。

记得有人说过这样的话来介绍如何玩手电的：黑暗中送MM回家，你魔术般从手里变出一道光芒，那是为了让她感到安心，那光芒是你发出的，是你力量的延伸。事实上手电这种爱好确实是比较男性化的爱好，喜欢手电的或者说从什么途径开始接触到手电的有这样的几类人：一类是对于电子和机械喜爱的人，手电加工制作上有很多机械和电子的要求。一款手电的好坏也同样是在这些方面表现的。一类是户外爱好者，有很多“驴友”（旅游爱好者）知道，不到万不得已不应该走夜路，但是这影响不了购买一款既亮又结实耐用的高性能手电的需求，毕竟有备无患。当然这里的户外爱好者的群体是宽泛的，夜间钓鱼用手电是非常有效的，这类也归属于户外爱好者。一类是对于“战术”的喜爱与对新技术的追求，要知道最初高亮度手电的设计就是为了室内反恐作战设计的。很多喜欢这种战术与军警风格的爱好者由于大环境的限制转眼到手电上，进而发现手电更加有意思了。同样，LED也是未来照明的发展方向，而最可以大胆采用这种新技术的就是在手电方面，其更新换代的速度也很迅速，是一个不错的“玩具”。


《国家宝藏》中出现的Surefire M6型号手电

说到如何对手电“中毒”，开始喜爱的方式有多种，也是很有意思的。有个玩手电的朋友说，他是看电影“中毒”才开始喜欢手电，看的电影是《国家宝藏》，对尼古拉斯凯奇在电影中使用的那款有着非常明显光柱的手电印象深刻。而该手电正是Surefire M6型号的手电，实际上这个手电是非常不适合在那种环境下使用的，虽然很亮，但是灯泡的发光体是超级耗电的。6节CR123电池只能使用20分钟，可以这么说，这是Surefire公司在通过电影厂商做的一种软广告，而现在看来这次软广告是非常成功的。有不少的美国电影中就经常出现反恐部队破门而入，在漆黑的环境下使用手电的镜头，而这些镜头中的产品很多都是Surefire公司生产的。想象一下，爱好者手中拿着的就是反恐部队的手电，这个公司广告做得厉害啊。

说到喜爱就肯定要提到购买了，我的理念是先学习一些这方面的知识，明白了之后再考虑自己的使用用途，而后购买。同样是手电，有人购买是为了随身带的，有人则是为了不时之需的，也有人是放在车里平时不怎么用的，购买目的上的不同也决定了具体产品的不同。而购买的途径上，在户外店和一些大商场中的购买途径最为直接，不过这些地方即使有也不一定很好，并且会非常贵。通过本专题的介绍，你完全可以比那些给你介绍手电的普通销售商更加明白相关的知识。说到这里就不得不提网络购买这种途径了，当然这里也要选择好卖家，不过不要完全相信商家的介绍，国内范围虚标的现象是比较常见，更多的可以参看使用者的评价，这些评价可以通过论坛的途径来进一步了解。全球最大的中文手电论坛网址是*www.shoudian.com*，在上面你可以查询到很多有意思的东西。

北斗FD1.3定制款钛手电

Surefire L4手电

手电的灵魂——发光体

◎宋思源

提到手电首先要说的就是发光体。它可以说是手电的核心部件了，现在的手电主要也是通过发光体来进行区分的。白炽灯发光效率太低，HID（氙气灯）要采用安定器，启动时需要预热时间，体积过于庞大。现在受关注程度最高，也最能够被接受的，就是基于LED发光方式的手电，这种发光方式也是未来照明领域的发展方向。本专题中，笔者主要讨论的就是LED手电。

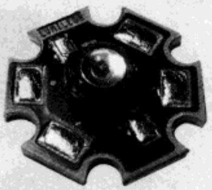
LED全名为Light-Emiting Diode，中文名为发光二极管。目前应用于手电方面的白光LED发光原理为，核心发光体发出蓝光，而后通过蓝光激发黄色的荧光粉，最终混合成为白光，发出光线。它与普通的白炽灯和三基色节能灯的最大区别就是其光谱的不完整，即它并不是由完整的光谱合成的白光。在进一步了解LED之前，我们先来看看全球发光体的生产厂商。

生产厂商

流明（Philips Lumileds）：

LUMILEDS LIGHT FROM SILICON VALLEY

飞利浦的全资子公司，在CREE公司出现前保持着量产发光体的最高效率记录，一直是主要的大功率LED供应厂商。虽然其产品在手电方面的应用越来越少了，但是它在大规模应用领域（如路灯照明等方面）还是占有非常大的比重的。



CREE：

CREE

美国CREE公司于2006年推出的P4级别LED，P4的发光效率全面超过Lumileds的产品，打破一直以来由Lumileds垄断的局面，成为备受欢迎的LED产品。CREE公司的产品以其较好的发光效率和较合理的产品价格定位成为现今最受欢迎的LED生产厂商之一，其Q5级别的LED被大量使用在手电照明领域。

韩国汉城半导体（SSC）：

SEOUL

该公司自己并没有生产LED核心的能力，它采用的技术核心为CREE公司的，只是该公司改变了其荧光粉与封装工艺。由于CREE的封装与传统的流明封装不同，所以存在兼容的问题，SSC的封装与流明的封装相同，较好地解决了兼容的问题，它推出的P7型号多核心LED也很有特点。

欧司朗（Osram）：

OSRAM

老牌的照明解决方案公司，它受到业界的瞩目是由于它于2008年发布的Golden Dragon Plus（亦称金龙）系列LED（以后简称为GDP）。此款LED核心体积非常小，发光效率也很不错，非常适合作为手电的发光体。不过它刚刚发布不久，产量上依然是一个问题，采用此款LED的手电厂家也比较少。当然没有完美的事物，这款LED据使用者称，色温较高，长时间高温度工作后，会出现偏色的可能，毕竟是一新产品，还需要时间的认可。

发光效率

讲到发光体，最重要的参数就是发光效率。

发光效率，顾名思义即当通过固定电流时发光体能够发出光线的多少。对我们来讲，发光效率当然是越高越好，当然发光效率越高，价格上也越昂贵。一般发光体的生产厂商都会标注发光体的发光效率等级，我们选择手电时，在考虑价格的因素后，考虑手电的发光效率自然是越高越好了。

目前市场上普遍接受CREE公司的LED发光效率分类方式，CREE公司发光效率的等级区分是按照N3、N4、P2、P3、P4、Q2、Q3、Q4、Q5、R2编号依次升高（见表1）。

在手电论坛上常有人问P4和Q5到底有什么区别，其实很简单，就是Q5的发光效率要高。有的爱好者比较关心如何区分P4与Q5级别的LED，这就

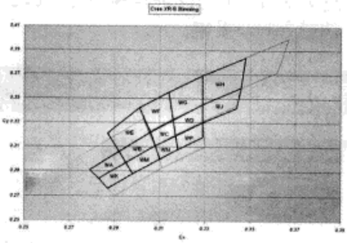
要提及CREE在制作工艺上的问题了。现在CREE LED都是在同样的生产线进行生产的，而生产出来的LED有着一定的离散性，也就是说同样的生产线生产出来的LED的发光效率也有着高低之分。对生产出来的LED根据发光效率进行分类，就引入了从N3一直到R2的各种级别，这些级别本身也是有着一定的区间的，比如同样都是Q5级别，也有发光效率高低之分。同样的制作工艺下，可以明确一点，在没有通电测试发光多少的前提下根本无法凭借肉眼通过外观来进行分辨。即使是在通电的情况下，人眼对于几十流明变化的识别也是不明显的，相近级别的LED不凭借专业的器材很难区别出来。

表1　CREE公司LED发光效率分类表

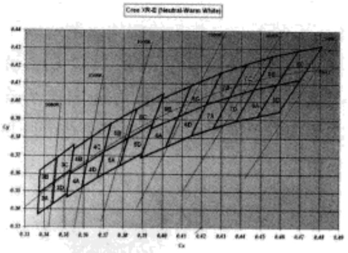
Color	CCT Range		Base Order Codes Min Luminous Flux (lm)	
	Min.	Max.	Group	Flux (lm)
Cool White 冷白	5,000 K	10,000 K	P4	80.6
			Q2	87.4
			Q3	93.9
			Q4	100
			Q5	107
Neutral White 自然白	3,700 K	5,000 K	N4	62.0
			P2	67.2
			P3	73.9
			P4	80.6
			Q2	87.4
			Q3	93.9
Warm White 暖白	2,600 K	3,700 K	N3	56.8
			N4	62.0
			P2	67.2
			P3	73.9
			P4	80.6

光色

除了发光效率还有一个重要的参数就是光色。由于白光LED的发光原理是混合为白光的，从光谱上来看，白光LED的光谱比自然光的光谱要少很多，而这样的问题在实际的应用当中就是显色性（显色性是指对物体色彩的还原能力）方面的问题了。而就现在LED科技发展的程度来讲，还没有能够完整形成自然光、白光的完整光谱的LED发光体。由于LED核心发出的是蓝色光，波长较短，色温较高，所以穿透能力较差。LED在照明应用方面的穿透能力几乎是一个永远的弊端，也几乎是其永远无法完全代替白炽灯的原因所在。CREE公司为了解决这样的问题，推出了暖白、自然白等光色的LED，这种LED的加工工艺有所改变，荧光粉有所改变，最终的结果就是这种LED所发出来的光比较“黄”，有些类似白炽灯泡的效果。



冷白光光色对比图



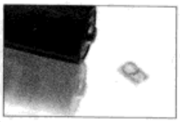
自然白、暖白光光色对比图

上面是在光色上有较大选择的CREE公司的各种光色图，显示的颜色即为实际发出光的颜色。

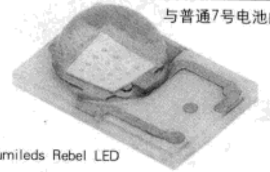
发光体封装技术

发光体的核心是非常脆弱的，暴露在表面将会直接影响其使用寿命，因而LED加工厂商普遍会对LED核心进行封装。封装也同样决定了LED的一次光学结构，即LED所发射出来的光线通过了封装的一次光学光路已经发生了改变。从某种角度上来讲，现在使用最多的CREE厂的7090XR-E系列LED的一次光学并不是很好，诟病就是那个金属环。曾有人分析这个金属环，CREE使用金属环的目的是将多余的被激发的荧光粉所发出来的黄色光屏蔽掉。这个金属环同样也将一次光学后的发光角度缩小了，其发光角度较小，半功率辐射角只有75°，小于Lumileds公司生产的LED的120°。发光角度的缩小对于二次光学效果的影响是非常大的。现在CREE之所以能够被普遍接受，就是其发光效率高，可以说是大家在发光效率和光斑的完美度的选择上最终屈服于发光效率。

在封装上，除了所提及的发光体的一次光学外，还有一个比较重要的参数，就是发光核心的体积。发光核心的体积越小，其发出的光线就接近点光源的效果，相对来说二次光学元件就更加容易做，光斑就更加完美。如Lumileds发布的名为Rebel的LED，其发光体的体积就非常小，但是此款LED的产量一直是个问题。同样还有最近Osram发布的GDP系列LED，发光效率可以超过CREE Q5，但是封装体积要小很多。



与普通7号电池的比较图



Lumileds Rebel LED

值得说明的是，并不是LED的封装越小就越好，对于大功率LED，散热的好坏是影响LED可靠性的一个重要因素，体积大些的封装在散热上有优势。

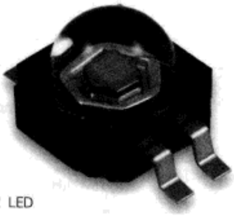
LED未来发展方向

作为LED未来的发展，人们最关心的就是亮度了，而作为亮度衡量的参数就是光通量，要想进一步提高光通量有几种方式。

提高光通量最理想的方式莫过于提高发光效率，发光效率的提高极限

是100%，而越接近极限，提高就越困难。虽然会有缓慢的提高，但毕竟这种发展总是有限度的。

第二种方式是增加LED的强壮性，从而提高核心的最大功率，正如Lumileds的型号为新K2的那款LED一样，能够耐受2A电流，为双引脚的结构。



Lumileds K2 LED

第三种方式是多核LED，把多个核心集合在一个封装里面，从而提高单个封装的功率和光通量，但是这样就会增加封装的面积，具体的产品如SSC公司的P7 LED和CREE的MC-E LED等。

多核心LED如下图所示，我们可以看到都是由4个核心组成“田”字的封装的。

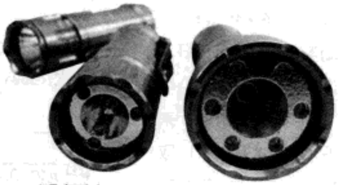
SSC P7 LED

第四种方式就是采用多个LED，也就是俗称的多头LED。有人还将六七十个CREE LED组合在一起组成“手电”。当然这种多LED一般不受大家的喜爱，主要是感觉比较“山寨”，其光斑也不是很好。

当然还有一种比较折中的方案，是一个主要的大功率LED配合其他的几个功率稍微小点的LED作辅助照明用。这种方式最典型的代表就是美国手电大师Mcgizmo所设计的Lunasol27和Lunasol20手电。Lunasol的理念是双光源，双输出，高挡位聚光设计，适合远射，而低挡位提供散光，适合近距离照明。据称其设计的灵感是来源于太阳和月亮，这样的设计均衡了高亮和低亮的需求。当然类似的设计在Surefire手电上也早有推出，比如其A2和KROMA等手电，只是Surefire的这种设计对于光杯的要求实在是太高了。

Surefire KROMA

以下是其Lunasol理念手电的照片，右侧的核心LED使用的是CREE的，左侧中心的主LED采用的是Osram的GDP，其外围的小LED是由日亚公司提供的。



Lunasol理念手电

值得提及的是日亚公司（Nichia），世界上第一款白光LED就是由日亚公司推出的，其在小功率LED应用上有着很深的造诣。在小功率LED的应用上，日亚基本可以代表着业界的最高水平。不过由于功率限制，其LED整个通光量并不乐观，在大功率照明LED手电的应用上并不多。

具体产品

现在市场上的主流LED还是当属CREE公司生产的7090XR-E系列LED，价钱合理，供货量稳定，并且发光效率也很好，这些都使其成为主流的选择。其曾经的主要竞争对手Lumileds公司的新K2迟迟没有大量供货，而Rebel系列的LED也由于质量问题被召回过，Rebel 100系列的发光效率倒是不错，不过供货量小，很难买到，它的封装较小，在设计小尺寸的手电时倒是一个好的选择。现在较新的LED是Osram发布GDP，其封装体积较小，发光效率据称可以超过CREE Q5，只是还有些不成熟，健壮性还有提高的空间，不过这可以作为未来的一个发展的方向，毕竟新技术的使用才会促进科技的进步嘛。

另外比较好的LED选择就是CREE的暖白、自然白系列，它现在能够大量供货的最高端的代表是P4-7A LED，这种LED的光色差不多可以和白炽灯进行比较，比其他LED的显色性要好。还有个选择方案是CREE的MC-E系列LED，这种的LED是将4个7090XR-E的核心封装在一起，相比SSC公司的P7封装体积要小很多，基本跟7090XR-E系列的体积差不多。但是这样的小体积的代价就是MC-E的整体健壮性要差些，散热差，能承受的电流要小。同样由于其采用7090XR-E的核心，MC-E系列也有各种光色可以选择。不过MC-E系列LED由于发光体体积变大了，在使用小口径、浅深度光杯的时候会出现中间的黑斑，而且目前该系列的供货量也算是一个问题吧。

实际上，在LED核心的选择上，爱好者个人考虑的因素并不多，笔者的观点是，LED作为手电关键的核心部件，能够有好的选择尽量要选择好一些的，因为它相比整个手电的价格来说，并不是特别贵（跟以前的Lumileds时代比可是要便宜得多了）。我们在选择上主要比较的是光色，毕竟发光效率方面没有什么好比较的，厂家都已经给出非常具体的参数了，参数自然是越高越好了。

小小电路有乾坤 ——手电驱动电路

◎宋思源

与LED手电的发光体同样重要的还有手电的驱动电路，LED对驱动电流的要求是很高的，简单地通过限流电阻来驱动的方式显然是已经淘汰的方案了。同样手电的人机界面操作也是通过手电的电路实现其调节的。

LED恒流开关电源有很高的效率、可以实现升压结构，是目前最重要的LED驱动电源，但是它成本较高。目前各大IC厂商都非常看好LED电源驱动市场，纷纷推出LED专用驱动芯片。下面笔者提供一些已经实际应用的电路图。

实际应用电路

基于7135芯片的简单降压驱动实际电路见图1。

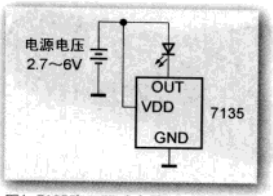


图1 7135降压驱动电路

图2 7135的实际电路

可以说7135的电路是最简单、最稳定也是最经典的电路了，电路无需任何外接组件，无电感等元件，电路整体的耐撞击性能非常好。以恒流降压方式进行工作，单个7135能够以350mA恒定电流输出，推动1W功率的LED，更可以多个并联达到更大功率的输出。输入电压范围为2.7~6V，非常适合驱动锂电池。值得说明的是，其适用于V_f值比较低的LED，当输入电压低于V_f值时，电路则无法工作了。

可以说，7135电路是在高V_f值LED出现前最合适的驱动电路了。

图2是7135的实际电路照片。 在图片中可以看到，该电路由4个7135芯片以及一个用于调光的控制芯片PIC12F629组成。

使用ZXSC310芯片的简单升降压驱动实际电路见图3，调光电路见图4。

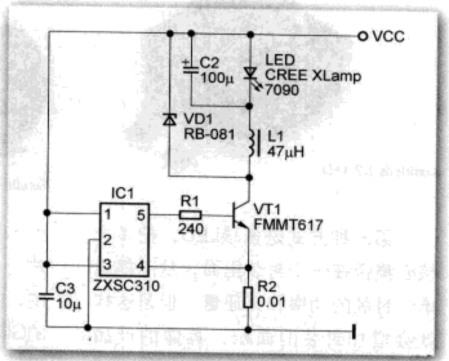


图3 ZXSC310升降压驱动电路

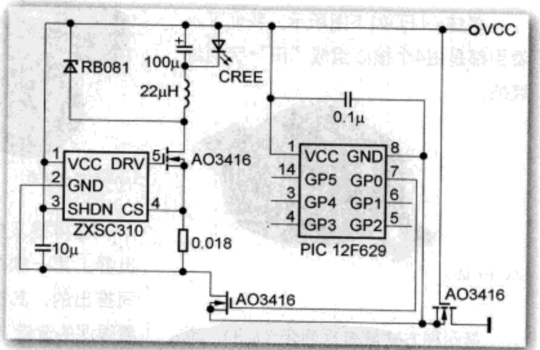


图4 ZXSC310调光电路

实际测试来看，电阻R1取10mΩ时，LED电流超过1A。实际操作上改为6个0.1Ω并联，输出电流下降到650mA。当输入电压超过3.4V后，输出电流逐渐接近650mA，输入电压在3.5V以上，输出电流变化就不大了，只有几毫安变化，可以说恒流效果非常好。输入电压4.2V时电池电流才500多毫安，可见效率很高。

如此看来，就单锂电池供电来说，虽然不能“榨”干电池能量，但在电池电量较高的阶段，输出电流基本平稳，效率也非常高。电池电压低于3.3V后，输出开始急剧下降，此时就需要给电池充电了。这个特性正好可以省略专门的锂电池保护电路。另外，这个模式空载时电路不工作，避免了空载电压过高的问题。

总体来讲，此电路显示了较好的升降压特性，结构比较简单，适合DIY制作，效果也可以接受，比7135方案有更好的高亮表现。

使用LTC3454芯片（芯片实物见图5）的高级调光自动升降压驱动电路见图6，实物电路见题图。

LTC3454电路的最大特点就是能够以非常恒定的电流输出，全工作电压范围内的电流波动不超过几毫安，恒流特性非常好，而且效率也不错。不过其稳定工作电流只能达到800mA左右，再大就会有烧毁芯片的危险，当然这个电流对于没有超大电流追求的芯片而言已经够用了。

LTC3454电路的特点是具有非常稳定的电流输出，多种亮度可调，非PWM调光方式，没有频闪。在目前的情况下，该电路可以说基本代表了自动升降压电路的较高水平。

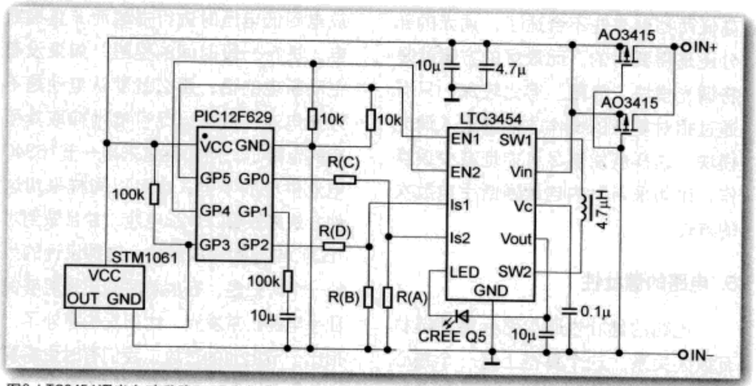


图6 LTC3454调光自动升降压驱动电路

成品电路的主要参数

下面介绍一些我们所关心的简单一点的内容——评价成品电路的主要参数。

评价成品电路的主要参数有：LED驱动电流大小、LED兼容性、效率、人机界面和电路健壮性，其中电路的健壮性方面可以理解为电路的电压健壮性和温度健壮性两类。

1. 驱动电流

电路的驱动电流直接决定了LED的工作功率，笔者理解并不是电流越大就越好。LED的特性决定，在电流已经比较大的时候，提高电流对光通量提高的影响并不是非常显著。而国内的手电普遍采用较大的电流，这并不是一个成熟的选择，只是能够增加些卖点罢了。大电流意味着散热和续航方面的缺失。值得提及的是，LED的致命缺点是非常怕热，高温对于其核心的影响是非常大的。Surefire这种大型的主要针对政府采购的手电制造公司没有出现过这种不成熟的大电流方案，相反它在电流设置方面相对来说显得有些过于保守了。在单节锂电池供电的手电上驱动电路的电流设置不要超过1A，控制在850mA左右是非常适中的方案，既能满足亮度的需求，也满足了续航和发热的平衡。

图5 LTC3454芯片

2. LED兼容性

LED兼容性意味着在后期升级LED方面的可能，即不同的LED都能够做到以同样的电流进行驱动，这里指的就是恒流电路。由于LED V_f值的差异，这里采用的是恒流的方式而非恒压。而恒流电路的一个典型应用就是基于LTC3454芯片而设计出的各种电路。

3. 效率

效率方面指的是输入和输出之间的比较。由于各种的损耗的存在，效率不会达到100%，效率当然是越高越好，越高的效率意味着电路本身越低的发热和能量损失，不必要的能量损失小了，手电的续航能力自然也就会提高了。

4. 人机界面

人机界面方面，现在的电路基本上大部分都是通过开关的通断来实现功能的选择，而现在的电路可实现的功能已经非常全面了，可以有各种挡位的亮度选择，各种特殊功能挡位设置，如SOS信号、爆闪等。经过了一段时间的使用，有的人并不太喜欢特别复杂的调光和爆闪等功能。其实并不是这些功能完全不需要，只是有的时候要得到自己需要的挡位比较复杂，比如调光过程中经常要经过爆闪等不必要的挡位。

对于这种情况，现在笔者能够想到的比较好的解决方案，就是将调光组件从尾盖开关处转移到别处。这种方案的一个典型应用就是JET Ⅲ M手电的调光方式，平时的挡位只是高低两挡，而这种高低两挡是通过拧紧/拧松灯头来实现的，其灯头组件实际上有两个负极，拧松的时候只接触其中的一个，拧紧的时候两个同时接触上。还有个方案是类似Surefire U2（见图7）的方案，其实现方式是在手电头部有个专门的塑料的能够转动的磁控调节环，调节环在不同的位置对应着手电不同的亮度输出。不过这样的设计相对来说比较复杂，技术难度也相对较高，国产的手电方面现在还少有这样的设计。这种方案在小批量加工上也是很困难的，模具的开发成本相对较高。上面提到的结构能够应付平时高低两挡的需要，但是一个手电只有

高低两挡就有些不合适了，调光的部分还是需要有的。而最好的方案就是将调光模块“隐藏”得比较深，只有通过相对复杂的操作才能够进入调光模块，这样就能够尽可能地减少误操作。比如采用1s内连续通断手电数次的方式。

5. 电路的健壮性

电路的健壮性跟电路元器件选材有很大关系。这个算得上是一个核心的部分，尽量选择好的元器件是理所应当的事情了。

电路的亮点

现在市面上的各种手电电路各有特点，下面说一下笔者所能想到的各种手电电路的亮点和值得借鉴的地方。

1.过放提醒

由于手电一般使用的是锂电池，而两节CR123电池的体积跟一节18650电池的体积类似，只是相比细了些。如果兼容不可充锂电池和可充锂电池，则必须要考虑到可充锂电的过放问题。目前比较好的解决方案是电池放电到低电压时进行提醒而非直接断电。进行一段时间的提醒，如果没有主动断电的话，那么就默认电池是不可充电池，就可以尽可能地榨取其所有的电量了。而如果是采用一节16340电池供电的手电，也可以同样采用这种方法来兼容CR123电池，并且做到对16340电池的过放保护。这种设计的另外一个好处是，在危急时刻还是能够保证手电的正常发光，比如发生意外了，相比一节电池的过放，我们有时更需要进行紧急照明，这时就可以不考虑可充电池的过放而继续使用。关于这种双供电系统的解决方案，笔者所能想到的比较好的方案是当电路进入可充锂电池的过放电压时，电路进入低亮状态，在低亮状态下短时间内快速开关电路数次则启动“榨干”电池的选项，即提示电路使用的是一次性电池。

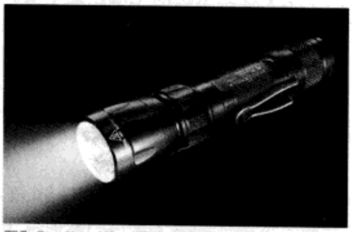


图7 Surefire U2，照片中类似于“脖子”位置的能转动的部分就是调节环

2.电池电量提示功能

这个功能在目前中国大陆所生产的手电中还没有被考虑过，而在Surefire的产品线中只有暂时发布但是迟迟没有上市的UA2有所涉及。Surefire的方案比较复杂，在筒身上专门有能够显示三色的指示灯用来显示电池电量的多少，无论是在功能的完善性还是在加工的复杂度上来讲都不适合爱好者采用。比较好的解决方案是设置出一个单独的寻机挡位，隔一段时间自动进行点亮，此挡位没有恒流功能，仅仅是将电池直接通过电阻接在LED上，电阻阻值设置得很大，这样工作电流很低，而且不需要启动恒流核心而降低效率。这个挡位的另外一个重要的作用就是能够根据该挡位的非恒流来实现电池电量的检测，电池电量越高，则此挡位的亮度越高，反之亦然。

本文电路方面的说明可能比较多，其中也有些内容算是包括了电路的发展方向。毕竟相对于LED本身而言，电路的更新换代更快些。

《无线电》合订本（2008年）

◎编辑部

《无线电》合订本（2008年）分上下两册，除了全年12期的全部文章以外，另外上下册各附赠一张光盘，内容如下：

上册包括第1期～第6期的文章，光盘内容为《Protel 2004 视频教程》，具体内容如下：

该视频教程用录屏讲解加上字幕及图表的形式，介绍了Protel 2004的工作界面、基本组成、各种常用编辑器和常用工具、系统参数设置、库文件操作等基础知识，详细地向读者介绍电路原理图的设计、网络表的生成、印制电路板(PCB)的设计方法及操作步骤等内容。

《无线电》合订本2008年（上）
书号：19276　定价：38元

下册包括第7期～第12期的文章，光盘内容为《立体声重放系统测试CD》，具体内容如下：

该CD适用于校准您在家中或是录音棚里的立体声重放系统。包括49段测试信号，详细介绍、目录及校准步骤见光盘中的《光盘内容介绍》及2008年第11期中的《立体声重放系统测试CD校准步骤》。

另外，附赠光盘还收录了《无线电》2008年全年12期配刊光盘中与文章相关的源程序、图片和资料等。

《无线电》合订本2008年（下）
书号：19277　定价：38元

读者可到全国各地新华书店购买，如果买不到也可直接汇款至我刊发行部邮购，邮购价：40元/册，80元/套。

手电光斑的精髓——二次光学元件

◎宋思源

“30m内一个完美的圆”，有位发烧友谈到他的发烧经历时说，就是因为在某本杂志上看到一篇介绍警用装备文章中的一句话“Surefire 6P能在30m内照射出一个完美的圆”，而后步入了手电发烧的领域的，可见手电的光斑对于手电的重要性。

二次光学元件是决定手电光斑的一个非常重要的环节。听起来可能比较复杂，实际上本文主要介绍的是光线输出的问题。这个概念大家或许比较模糊，具体地说就是指LED发射的光线经过了LED本身封装的一次光学后，再次经过二次光学的调整，最终形成输出光斑的过程。一次光学已经由LED的封装所决定了，基本不可调整，所以我们改变光斑输出的主要工作点在二次光学元件上。最常见的二次光学元件是反光杯，还有透镜。二次光学元件直接影响手电的光斑，手电的定位用途也在此表现。

反光杯

理论上，反光杯的纵截面形状应该是抛物线，这样输出的光线才能是平行光。但是LED并非点光源，发光角度、半功率辐射角都没有点光源那么大，同时反光杯在设计上由于考虑泛光等各方面问题，所以其纵截面并非绝对的抛物线，不同的发光体的纵截面也不尽相同。

反光杯的反光面也有所差别。常见的有纯光面、丝状、微橘皮和橘皮之分。纯光面的发光率要高，但是输出的光斑不是很均衡，橘皮的反光率低，但是输出的光斑漂亮很多，可以做到很均匀的聚光-泛光的过渡。丝状和微橘皮介于上述两者之间。在实际的选用上，除非是超级远射的手电，一般小尺寸和中等尺寸的手电都选择橘皮或者微橘皮的，毕竟平时用于近距离照射时的光斑要好很多。丝状反光杯的均衡性较好，但是据生产厂家称，此类光杯的次品率很高。而还有的光杯是分段式光杯，即一部分是橘皮的，一部分是光面的，这种光杯集成了两者的优势，当然加工难度要高，价格也同样要高了。图1~图4是各种常见的反光杯的照片。

反光杯在尺寸上还有深度和口径之分，相对来说，深度越深，口径越大，其聚光效果就会越好。这两个参数中更重要的参数是深度。但是由于国内批量加工次品率方面的问题，国内设计生产的反光杯深度一般都不大，并且很多反光杯并不是直接从LED部位开始聚光，而是在LED附近有一个平面，这样的做法是在不增加光杯深度的情况下，将整体的口径提升上来。实际上这种做法对于聚光并不能起非常大的作用。总体来讲，这样的“大头”只能算是个噱头或者说一种误导罢了。在反光杯的尺寸采用上尽量考虑深度/口径比值大的光杯，并且光杯要尽量直接从LED面开始聚光。

我们可以通过图5看到所说的那个LED附近的平面。

图1 橘皮反光杯

图2 光面反光杯

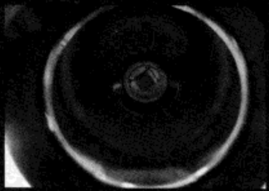


图3 丝状反光杯

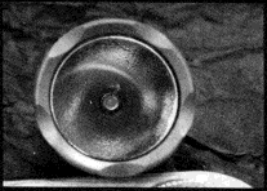


图4 微橘皮反光杯

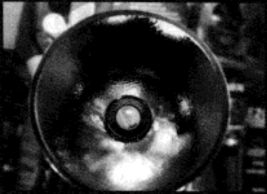


图5 手电LED附近的平面

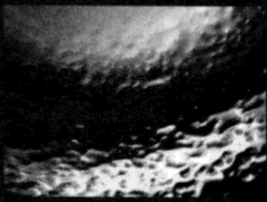


图6 反光杯的局部特写

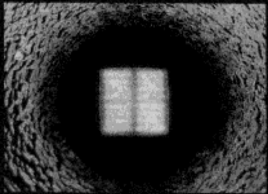


图7 正在工作的LED及其光杯

图8 Surefire的tir系统透镜

图9 即将面世的Surefire UA2

在具体的产品比较上，GDP相比CREE 7090XR-E系列LED在光杯的使用上有着先天的优势。更小的封装体积配合更大的发射角和半功率辐射角，这些对于光杯制作来讲都是非常好的优势，其明显的表现就是在同一公司、同样型号但不同发光体手电的光斑比较上，采用GDP核心手电的光斑要比使用CREE的好不少。

反光杯的加工

由于手电核心的发热较大，塑料材质的反光杯耐热性较差，所以其应用范围并不是很大。现在普遍能够被接受的是采用铝合金材质的反光杯，它是通过CNC（雕刻机）加工成型后，再电镀反光面的，反光杯的制作上算是一个厂家技术保密的方面了吧，所以笔者也了解得较少。相对加工来讲，大家普遍关心的是最终的效果，也就是最后的光斑了。

图6是反光杯的局部特写。橘皮杯正是通过这些细小的类似橘子外皮的褶皱得到较均衡的光斑。

图7是正在工作中的LED及其反光杯的照片。通过照片能够较明显看到发光体核心的情况，为多核发光体，4个发光核心构成“田”字形结构。

透镜

透镜作为一种二次光学元件有着其独特之处，其体积可以很小，而其聚光效果要比反光杯效果好，但是适用范围也是很有限的，仅适用于发散角度较大和发光核心较小的LED。

由于制造透镜需要开模加工，加工量较小时，制作成本较高，而且要考虑材质的耐高温和透光率等因素。透镜也属于精密光学元件，加工上对精度的要求较高，总体的加工成本较高，在国内较少出现在量产手电中。

不同透镜的聚光方式并不相同，笔者只是举其中一个典型的例子来作分析说明。图8为Surefire的tir系统的一款透镜，十分精致。

此款透镜结合了泛光与聚光的功能，其下方的锥形结构的功能与反光杯的功能类似，起到汇聚光线的作用，只是其汇聚的原理不同，反光杯采用的是镜面反射原理，而透镜则是全反射原理。它上方的圆形突起部分是聚光部件，简单地讲，它能够发挥出放大镜聚光的作用，能够将中心的光线汇聚，而后发射出去，最终得到中心光斑。它上方的外圈部分则是泛光部件，较大的开角将此处的光线以较大的发射角发出，最终形成较好的泛光区。

而透镜还有一个优点就是可以实现变焦，不过这对于透镜的加工要求是非常高的，图9是即将面世的Surefire UA2，重新设计的采用多片镜片组成的光学元件使其输出光线可控。总体来讲，此款透镜的设计十分合理，但是这种光学元件对于加工方面的要求也非常高，较少出现在国内品牌的产品上，比较遗憾。

常见产品的光斑对比

笔者为大家提供常见的几种类型的光杯光斑图作参考（图10～13），主要对比的是光斑的形状，而非光色。

一般白炽灯的灯杯都比较浅，其泛光区域一般都比较大，需要距离很近才能看到完整的光斑。Lumileds生产的LS-3W LED采用的是丝状光杯，但是依然有着较好的表现。

CREE LED在光面杯上的光斑表现为中心光斑外有圈黄色的环，这正是CREE的金属圈造成的。CREE采用橘皮杯的反射效率要低，其光线输出相比光面杯要差些。

图10 LS-3WLED的光斑

图11 白炽灯光斑

图12 CREE LED光面杯光斑

图13 CREE LED橘皮杯光斑

手电的动力——供电系统

◎宋思源

手电的供电系统，当然指的是能够手持并且独立供电的系统了。手电的电池也是手电的一个重要部件，可以这么说，手电所采用的电池基本决定了手电的尺寸和定位。

电池，可以分为可充电池和非可充电池两种，现在的LED手电的功耗一般都不小，出于经济和环保的角度考虑，我个人还是推荐以使用可充电电池为主要储能设备，非可充电电池作为备用选项。日常情况下使用最普遍的电筒电池中，AA和AAA电池（分别是我们平时说的5号与7号电池）是很不错的选择，来源充足。一次性的电池随便哪个超市都可以买到，而NIMH的充电电池也很多，这类手电比较适合家用。对于发烧友来说，最理想的电池是可充电锂电池，其能量密度大，放电电压高，不用考虑记忆效应，经济、环保等，有着各种优点，而缺点呢，需要专用充电器，并且不是非常普及。

锂电池

由于锂电池的工作电压比较特别，如果放电截止，电压过低会对电池造成不可修复的影响，使用锂电池就必须要考虑防止过度放电的情况，即低电压过放保护。不过，有没有过放保护，在LED使用上的实际差别不是很大，毕竟如今在电路上加个低电保护很方便，而且带有过放保护的电池电量一般不高，只要在使用中稍微注意些，基本不会出现太大的问题。

图2 一款手电的横剖面图

在锂电池的个数选择上，一般驱动LED的手电，笔者个人比较喜欢单节锂电池的。如果采用多节锂电池，就必须考虑因为内阻不同而造成的某节锂电池过放的情况，采用单锂供电则免去了对过放的担心。

图1 常见的各种型号可充锂电池的对比图

下面笔者为大家介绍一些普遍被接受并采用的锂电池。我们平时所说的16340、17335、14500、18650等电池都是这些可充锂电池的型号，其型号参数可以这样理解：前两位表示电池的直径，第三、四位表示电池的长度，单位都是mm，最后的0表示此款电池是圆柱型电池。18650电池即为直径18mm、长度65mm的圆柱形电池。18650电池设计的初始目的是给笔记本电脑供电，笔记本电脑的电池基本都是采用此类电池的，其能量密度是现在大规模使用的可充电电池中最大的，放电电流也能够承受一般的正常手电，可以说是最适合给手电供电的电池。14500也普遍被采用，原因很简单，它的体积与一节AA电池体积相同，可以放进采用AA电池的手电内，当然在电路上要做到支持。16340电池被普遍接受是因为其体积与CR123A电池相同，CR123A电池为非可充锂电池，普遍使用在相机上，那种老式的家用胶片机就有很多是采用此种电池的，其突出优点是能量密度大，非可充CR123A电池与可充16340电池在加工工艺上不同，CR123A能量密度甚至能够达到16340的2.5倍之多。另外其有效存储寿命非常长，好的甚至能够达到10年之久，非可充电池所能比拟。当然CR123A的售价也不便宜，长期使用成本很高，不过非常适合备用。另外值得说明的是，非可充锂电池的工作电压都在3V，与可充锂电池的满电电压4.2V不同，在电路上需要注意。

具体的型号在电池上都有标注，电量也有标注，比如17335电池的700mAh。

在实际的应用中，两节16340（CR123A）加起来的体积与一节18650电池差别不大，所以很多手电的电池仓采用的是能够容纳一节18650的设计，这样既可以采用一节18650电池供电，又可以兼顾到两节16340或CR123A电池供电，灵活性很大。

由图2可以看到，该手电筒采用的是两节CR123A电池，也可以看到其发

笔者个人认为，玩手电不玩锂电池的，那根本就不能算是发烧。

光体、发光杯与驱动电路。

当然供电设备并不只限于这几种，还有各种锂聚合物电池的，有很多手提灯以及HID都是采用聚合物电池的。

图3 一款量产的用于16340电池的专用充电器

图4 筒友制作的用于18650电池的充电器，带有散热风扇，其充电电流能够调整

充电器

前面讲到很多可充锂电池的优点，锂电池虽好，但是用起来有点麻烦，最大的麻烦就是必须要专用的充电器才能使用。下面就为大家介绍一些锂电池充电器的信息。

现在公认的可充锂电池的充电方法是先恒流后恒压的方式来充电，即先以恒定的电流对电池充电，此时电池两端电压会上升，待其电压上升至扭拐电压（4.2V）时，就开始维持这个电压不变，此时电流会相应地开始降低，直到充电电流降低到一定程度。此时充电过程完全结束，一般截止电流为充电初始电流的1/10，不过并不绝对。

下面将要介绍的是具体的评价充电器好坏的参数和一些适合DIY充电器的芯片。

评价一个充电器好坏的参数不外乎两个：截止电压和充电电流。截止电压的要求很简单，必须是4.2V，锂电池设计的就是这个电压。比这个电压值低了，充不满电，高了则会损坏电池。充电电流方面，大电流充电迅速，不过发热较大，对电池要求较高。一般1Ah以下容量的电池使用500mA充电即可，2Ah以上的采用1A或者更大电流充电。要选择成品的充电器，关注这些方面就可以了。

下面笔者讲讲个人DIY方面所使用的芯片。提到锂电池充电管理芯片就不得不提及MAX1811了，MAX1811指的是美国美信公司出品的一款锂电池充电管理芯片。由于其不需要复杂的外围电路，使用5V供电，可以从电脑USB口取电，并且能够达到500mA较满意的充电电流，非常受筒友的喜爱。还有一点也很重要，该芯片可以去美信公司免费申请，而个人只需要购买2个电容和1个做指示灯用途的发光二极管就可以完成充电器的制作，简单便宜。

MAX1811的应用电路见图5，其中C1与C2均为钽电容，R1为LED的限流电阻，JP1的1脚接电池正极，2脚接电池负极。电路可以通过美工刀刻制覆铜板的方式自己制作。其中左侧为标准USB插口，这样就可以在电脑上或MP3、手机充电器上的USB口取电了。

同样被普遍接受的锂电池充电管理芯片还有LT1733、LT4002等，这些芯片都是可以申请样片的，一般会给2片，对于个人DIY使用还是足够了。其中LT1733芯片的封装很小的（见图7），对于焊接能力要求较高，其优点是能够通过外接电阻的阻值变化改变充电电流，图4充电器即采用的是两个并联的LT1733制作的。LT4002芯片的功能更为强大，不过其外围电路较复杂，这里就不一一说明了。对于个人DIY，笔者还是强烈推荐MAX1811芯片。

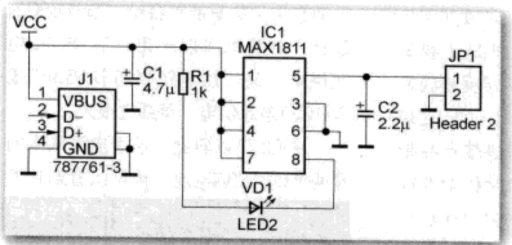


图5 采用MAX1811的手电供电电路

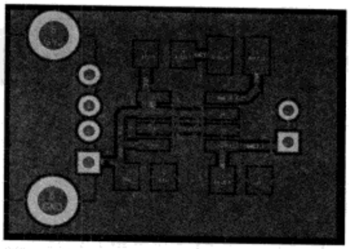


图6 MAX1811应用的PCB图

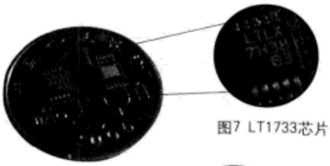


图7 LT1733芯片

图8 能够存储6节CR123A（16340、17335）电池的电池盒

图9 可装电池的M豆巧克力盒

电池的携带

我们所使用的电池很多都是工业电池，如最普遍的18650电池，如果正负极短接会比较危险，这就涉及如何方便、安全地携带电池了。

目前市场上有比较成型的携带盒子，不过其防水性能不是很好。现在爱好者采用得比较多的方法有：劲浪口香糖盒、M豆巧克力盒、一次性肥皂盒、得力牌回形针盒等。实际上很简单，大家可以发挥自己的智慧找到合适的盒子的，这些都是建议。

图8、图9是实际应用中存储电池的两种方法。

不可小视的手电开关

◎宋思源

手电的开关有很多种，开关的质量对于手电也是非常重要的。根据手电开关的位置，有头部开关、尾部开关。最常见的头部开关就是那种虎头铁皮手电了，这种开关在防水处理上有一定的难度。还有的就是类似于TEC40的那样“拧紧后接触”的头部开关，这种开关一般常见于潜水手电上，操作上比较麻烦。

大功率LED手电中最常见的是采用尾部开关的结构，有些尾部开关带有电阻，为的是方便调光。还有一些是编码的开关，都比较复杂，且在手电上的使用并不多。本文主要介绍的是手电上最常见的几种开关：旋钮开关、战术开关、正向开关、反向开关。

旋钮开关

旋钮开关的前提是尾部采用端面导电，或者是尾盖螺纹本身不导电，这样就可以构成一个接触面，如果手电拧紧了，就会让电流回路接触上并且达到导电的目的，拧松会断开电流回路。这种旋钮开关的优势是结构简单可靠，并没有什么脆弱的电子元件，能够承受大电流。当然也是有缺点的，如操控性较差，单手开关较困难，而且由于经常拧紧拧松，会加速螺纹的损耗。

图1 最典型的旋钮开关

战术开关

战术开关最早是由Surefire公司定义的，其原理跟正常的旋钮开关基本类似，只是这种开关的接触面作了改进，不仅前面安装有弹簧，而且开关的整个接触面是可以活动的。它有三种工作状态：一种是彻底拧松，这种状态下无论是否按压后面的按钮都不会接通电流回路；一种是点亮状态，此时稍微拧紧尾盖，如果按压按钮就会接通，松开按钮则断开回路；最后一种是长亮状态，即彻底拧紧尾盖，电路长时间接通。现在非常详细地说明了战术开关，其设计的初衷是为CQB（室内近战，要求战术灯能够突然点亮，能发现疑犯而不暴露自己）使用的，既要满足短时间点亮的目的，又要能够长时间点亮。

正向开关与反向开关的区别

简单地讲这种开关是一种按钮开关，现在最常使用的开关也就是两种：正向开关和反向开关。它们有什么区别呢?

正向开关：半按开关则接通，此时松开则断开，重按即按下则达到锁定状态，此时半按没有反应，再次重按下后解开锁定，电流回路断开。

图2 Surefire G2 战术尾盖

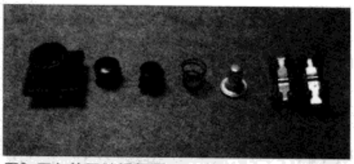


图3 正向的开关拆解图

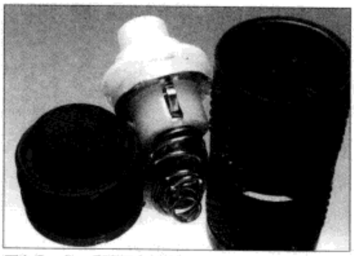


图4 Surefire Z57正向开关

图5 反向开关

反向开关：半按开关无反应，重按即按下接通且达到锁定状态，此时半按断开，半按后松开则依然保持接通状态，重按即按下断开。

这样解释可能比较繁琐一些，实际上，只要实际操作过了，就能马上区分出来是什么样的开关了。

笔者个人比较喜欢使用正向开关，国内生产的手电基于成本、尺寸等因素考虑，较少使用正向开关，比较遗憾。

浅谈手电的制造

◎宋思源

谈到手电的制造，就不得不谈到外壳了，这也是选择手电的一个很重要的部分。

材料

手电较常用的外壳材料有以下几种：

塑料：

优点：重量轻，可以使用模具制造，制造成本低，表面处理容易或不需要表面处理，外壳有着优良的耐腐蚀性能，非常适合潜水等方面应用。

缺点：散热性很差，甚至几乎无法完好散热，不适合大功率手电使用。

金属材料：

优点：强度高，散热性好，且能够承受较高温度不变形，可以使用CNC制造出复杂结构。

缺点：材料及加工成本高，重量较大，一般需要表面处理。

其他材料：

木材，石材等，一般为个人爱好者DIY采用居多，量产的可能性很低。

比较常见的外壳制造工艺是使用铝合金制造，然后再进行阳极硬化处理。阳极处理后可以达到很高的硬度，但仅仅是很薄的表层，不耐磕碰，日常使用还是比较耐磨的。而笔者在本文介绍的也是以铝制手电为主。

表面处理

表面处理方式对于手电制造非常重要，铝合金表面经硬质阳极氧化处理后，可形成厚度30～100μm和硬度约500HV的薄膜，具有优异抗蚀和耐

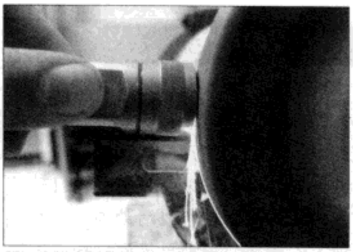


图1 钛打磨时的照片，其火星颜色为亮白色，与铝等金属不同

图2 典型的处理后表面类似陶瓷质感手电

图3 surefire公司出品的L4型号手电照片，其表面处理采用了第三级阳极处理

手电常用的金属材料

铝：最常用的手电制造材料，重量轻，加工相对较容易，表面阳极电镀处理后可以得到良好的耐磨性能以及色彩。

铜：较多地用来制造激光手电，较重，拥有优良的散热性能，表面处理比较困难，很难得到高硬度，一般以电镀、喷漆或烤漆为主。

钛：航天金属，在与铝相近的密度下能够达到钢材的强度，拥有着高度的生物亲和性，高度耐腐蚀，加工极为困难，价格昂贵，散热性能不是很好，表面化学处理较为困难，但经过渗氮化学处理后表面能够形成一层极硬的TiN薄膜，HRC硬度（又称洛氏硬度，用于衡量硬度很高的材料）甚至能够达到80，而钛内部的硬度也是比铝要高的，所以与铝合金做表面阳极处理后相比，整体的耐用程度会有很大的提高，实际使用中几乎无法磨损。当然此种处理常见于钻头上，加工成本极高。

不锈钢：由于它不需要进行表面处理、加工相对容易、保持性较好等优点被很多人所关注。但是不锈钢也有它自身的缺点：密度大导致的重量大，导热性不好导致的散热不佳。表面处理上一般可以不做化学处理，以物理处理为主，如拉丝、哑光、镜面和喷沙等。

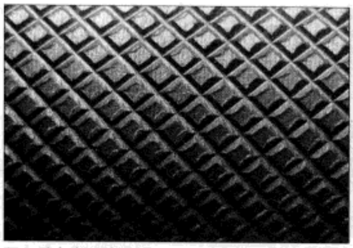


图4 手电表面的滚花

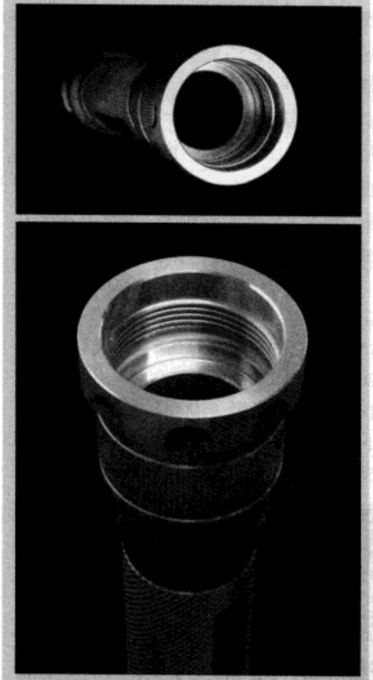


图5 一体化加工出来的筒身，只需再安装灯头部分和尾部开关部分即可以组成完整手电，不过其缺点是对于加工工艺要求较高，比较废料，加工成本也相应较高

磨性能。其实所谓硬质阳极氧化处理就是使铝件接通正极（阳极），通过酸性溶液的导电作用，使其表面产生一系列的反应，增加表面硬度、耐腐蚀度，并且改造表面物理结构，使其容易吸附染料。此种阳极处理分为一级、二级、三级三种等级，其分级方式是按照表面薄膜的厚度分级的。其中第三级阳极处理后的厚度最高，硬度最高，耐磨性能也最好。一个手电的阳极处理的好坏也是衡量手电生产厂家的一个重要参数。经过了非常好的阳极处理后，其表面质感能够跟陶瓷很接近，非常精美。在图2中，我们甚至可以看到黑色表面特有的反光。

通过图片我们可以看到手电表面较多采用滚花，而滚花也是很特别的，滚花的摩擦力很大，即使手上有水也可以很轻易地抓住。图4照片中是图3手电上滚花的微焦图片，其特殊之处就是在于其左上处和右下处的突起。该图的表面经过阳极处理后硬度也很不错，甚至可以当做锉刀来用。

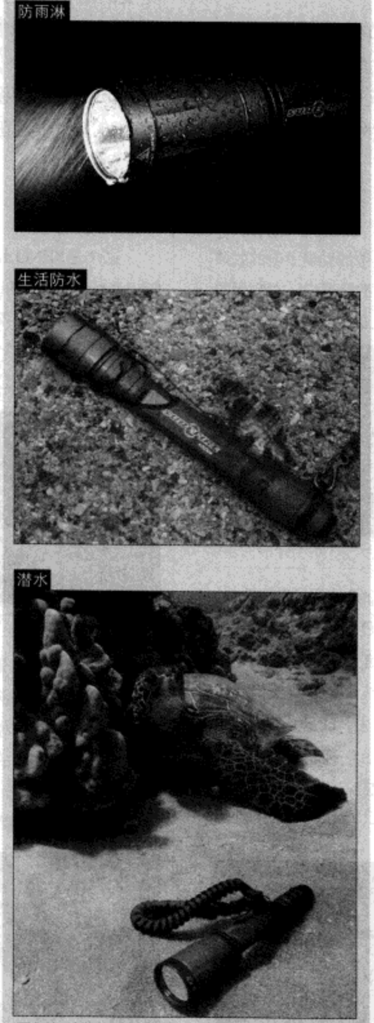


图6 各种防水级别的典型产品图片

图7 外观酷似电脑散热片的手电

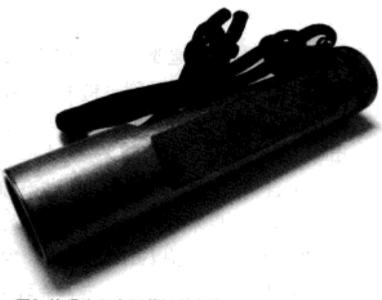


图8 外观为正方形截面的手电

加工工艺

接下来讲讲手电加工和设计的问题，这些问题决定的是手电的强度和防水方面的表现。

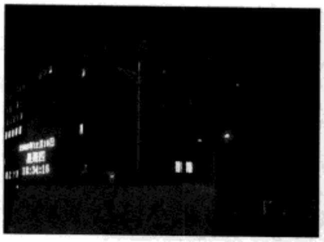
加工上最好的方式是采用一体化的棒材加工，即整个筒身是一体的，这样的好处是能够降低连接点，加大强度的同时也更方便防水了。

防水是分等级的，直观地可以将防水等级分为防雨淋、浅度生活防水和潜水，见图6。实际日常使用中，生活防水已基本够用了，越高级的防水其对加工工艺以及O—ring（主要防水部件）要求也就越高，价格上也就越高。

在手电外观的选择上则有着很大的个人喜好的因素了，很多非常有特点的手电，有的人喜欢，有的人则非常不喜欢，比如图7、8的这两款外壳跟电脑散热片似的手电和中筒是正方形截面的手电。

手电实战测试

◎宋思源



实测活动的集合和出发地点（注意楼上有个白色的光斑中心图，那个就是我们的手电照的）

俗话说得好，是骡子是马拉出来溜溜。一款手电到底怎么样，还是要拿到手里点亮了才能知道，在这个部分我主要是通过实际的测试照片来对比一些比较有特点的手电。

测试地点为了模拟在野外复杂环境下的实际表现，选定在大连某山。具体的测试时间大概是晚上七点多，因为测试的日期是快冬至了，所以虽然是7点多，但是天已经完全黑了。

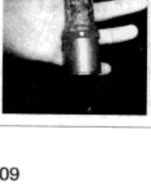
测试者嘛，笔者找来一些大连玩手电的朋友，一起来爬山锻炼了。

值得提及的是所有的光斑对比照片的拍摄，使用相机为canon G7，白平衡为中午12点（晴天）日光下手动选取的，能够尽可能反映不同LED光色的最真实表现。为了实现亮度的对比，曝光参数均为同样的设置，均为F2.8光圈、ISO800、1/3s曝光时间，在实际爬山过程中，基本能够还原人眼感知的亮度，并且为了对比实际的亮度到底有多高，我们还带了超市常见的劲量手电对比。

好了，步入正题，开始手电的实际对比。测试是在半山腰的位置进行的，此处四周有树木包围，比较适合测试。

左侧就是普通的超市有卖的、使用两节5号电池的劲量手电的效果了。笔者没有任何贬低的意思，实际的效果确实不是很好，右侧用的是TEC40，曾经的一代经典，亮度上跟现在的手电相比还是有差距的。

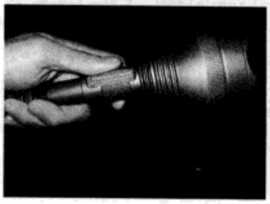
下面这个手电是一个成品手电的大组合，都是使用的Surefire的产品组合而成的，使用的中间筒身型号是G2-HD，为塑料材质，冬天使用不冻手，尾盖是型号为Z58的正向开关尾盖，按下可以锁定，方便调光，按键手感很不错。而灯头是C2的灯头，金属灯头拥有良好的导热能力，能够即时地将LED的发热传导出去。LED上使用的是Q2—5C光色的，这种光色是我个人最喜欢的光色，有点像白炽灯超压、超功率使用时的光色，黄中带着白，给人感觉很亮，而且很柔和，在户外的穿透力也不差。光杯尺寸同样为26.5mm，电路上使用“3454”电路，效率很高而且恒流效果一流。



这个是XENO出品的使用两节18650电池的手电，光杯尺寸为26.5mm，所采用的LED为P4－7B，暖白光色LED，实际效果跟白炽灯的效果很接近，不过比它要省电得多，而且两节电池，电量十分充足，可以连续用4个小时以上，缺点嘛，我个人感觉手电长度太长了，倒是十分适合工厂等场合使用。

下面这款手电采用的是Surefire的E1L，筒身使用一节16340电池，配合国产的灯头组件，外加DIY的使用“3454”电路的Q2-5A LED，此处跟上面对比的是光色和光杯上的问题，这个手电比上面的要小巧，但实际的通光量输出上并没有少，通过光斑图可以看到只是没有上面的聚光，5A对比5C光色，要显得白，是那种白中带着黄和一点点红的感觉，对于环境的层次感还原比5C要差点。

下面这个大“家伙”，使用3节16340电池的国产M3T手电，此手电为白炽灯发光体，就是最原始的那种接通就亮的手电，其采用3节锂电池，工作电压很高，亮度很不错，而且延续着白炽灯在户外的良好表现。此手电也有着致命的缺点，工作时间太短，即使用充满电的最好的电池，使用时间也不会超过1个小时，而且容易过放损坏电池。总结出来一点：白炽灯太费电！



下面介绍的这款手电，主要是外形上比较出众，可以说是最受广大手电爱好者喜爱的手电样式了，其筒身部分为Surefire L5筒身，灯头部门为XENO生产的带有防震功能的灯头，尾盖部分为EDDY生产的带有攻击头功能的尾盖，开关为正向开关，不过手感比Z58尾盖要差不少。光杯尺寸同样为26.5mm，电路是不同版本的“3454”电路，发光体采用的是Q5级别的，光色为WC光色，相比自然白、暖白光色LED表现要差劲。主要是没有纵深感，无法分辨到底你照射的东西有多远多近，看照片中旁边的树丛就可以对比出来效果。在户外环境下，纯粹的冷白光并不是十分适合的。

下面这款手电是一款准定制手电，手电外壳采用高纯度钛金属，上面的花纹是可以自己定制的，加工精度异常高，而且钛金属为生物亲和性金属，触碰手感很好，生产者为北斗，型号为FD1.3。它有着高度的防水性能，在菲律宾海底潜水实测的结果让人非常满意。正向开关，采用1节16340电池供电，LED方面为Q5级别WC光色。其光杯的设计非常好，光斑上没有任何的暗区，可以说是最完美过渡的光斑了。当然其设计定位决定其远射能力和整体的通光量并不是很高，穿透能力也不是很好，不过对于近距离泛光照射还是非常适合的。缺点嘛也有，钛金属的散热能力并不好，长时间使用会有烫手的情况发生，而且钛金属的硬度并不高，很容易划伤表面。

下图中的手电是北斗的作品，使用的是18650电池，LED使用的是较早期的P4级别的LED，光色上比较偏蓝，这个是很早期的产品，跟现在的产品对比还是有差距的，无论是在亮度上还是在光色上。不过这里主要介绍的是其外壳，依然是高纯度钛金属的外壳，但其表面做过高速离心石洗表面处理，硬度得到强化，而且有种碎金的效果，很受发烧友欢迎。采用旋转尾盖；体积上相比其他采用18650电池的手电要小巧得多。防水处理上依然不错，虽没有FD1.3的100m防水，但30m的防水效果也是很不错的了。

下面这个可是一个大家伙，有快5kg重了，登山的时候是我们所有装备里面最重的了。号称采用55W功率灯泡，但是实际的表现效果不是很好，并没有想象中那么亮。由于其拥有超大的光杯，聚光效果上还是不错的，不过实在是太聚光了，没有什么大的泛光区，并不适合近距离照明使用。具体的品牌是鹰眼王。

下面这款手电是一款非常典型的手电了，型号是DBS，采用的是Q5级别的LED，驱动电流也不小，超过1A。光杯特点是非常深和大，聚光效果很好，光色上是WC的，在图片上可以看到很亮很小的中心光斑，远射能力很不错，而且有不错的光柱感，不过对于登山这样并不需要看得特别远的情况，感觉不是很合适，因为太亮了，那个光斑很刺眼。

下面这款手电是Surefire的G2，使用的是正常的灯泡发光体，发光效率不高，亮度上也不是很好，可见未来还是LED的时代啊。虽然在显色性上有差异，但是在节电与高亮度方面还是占有很大的优势的啊。

下面这款是Surefire的E1E，发光体依然是灯泡。这里主要关注的是此款手电的外形，其筒身上有个夹子，可以夹在帽子上，充当头灯使用，解放双手了。

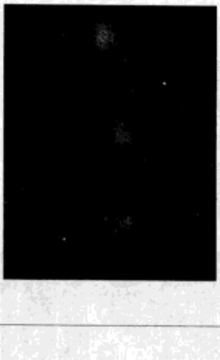
下面依然是灯泡的手电，型号是WF 600，采用两节18650电池供电，体积很大，当然换来的是高亮度输出，表现比较让人满意，不过要注意的是，不要让电池过放了。

下面这款手电是Jetbeam品牌中比较典型的，型号是III pro，调光上比较特别，这个亮度是最高挡位亮度，LED依然是主流的Q5-WC，聚光也不错，开关是反向开关。

下面的是Fenix T1，Fenix一款很有代表性的产品，在此款产品问世前，Fenix的定位都是户外爱好者的照明解决方案，强调的是亮度与使用时间的合理均衡，而此款手电则强调亮度，其亮度输出在实测中有200lm，很不错。

下面这款是XENO的G5，采用的是7B光色的LED，是大规模量产的手电中比较少见的采用暖白色光的手电，而且灯头部分是采用一体化可以更换的LED发光体、光杯、电路组件，方便用户更换，可以选择的余地很大，比如可以更换WC光色的，也可以更换灯泡发光体的。值得提及的是，该手电的散热性能、电路组件等与筒身严密接触，可以很好地将热量传导出去，很保守的电流设计也让其整体发热量降低不少。光色上跟前面的7B的光色一样，类似灯泡的效果，不过比灯泡的要省电太多了。

这张照片则是各种光色在照射树木时候的表现，依上至下分别是WC光色、7B光色、5C光色、WC光色。



下面这张是爬山中间休息的时候照的，很多手电的大集合。

爬山累了下山找了家KFC仔细地玩玩手电。当然我们是只要发光的都玩，图片中还有ZIPPO和美军制式引火镁块。图中左下角的就是前文中没有出现的TEC40。

◎宋思源

国内外手电品牌纵览

不要再抱着国货一定就比不上进口货的想法啦，也不要再迷信什么美国进口的啦。下面要介绍的就是几个非常受国内外爱好者欢迎的国产品牌。国内产品无论是性价比、做工以及对于二次电池的支持都是非常不错的。

Surefire http://www.surefire.com/

中文译名为神火，我毫不保留地表达着对它的喜爱，Surefire可以说是高端手电的代表，长期以来为军方和执法部门生产高质量的照明工具，包括手电，战术灯（通过电视等媒体经常可以看到美军特种部队的枪上挂的很亮的枪挂灯就是该公司生产的）等。其手电大部分产品使用一次性锂电驱动，小巧高亮。Surefire的产品线异常庞大齐全，各种配件更是让人眼花缭乱。

Surefire庞大齐全的产品线

INOVA http://www.inovalight.com

一个非常会运作的品牌，在LED刚刚推出的时候，其典型的产品是X1、X5、X0，尤其是X5，采用5颗小型LED，有着不错的防水性能。现在INOVA并非全部在美国本土生产了，有不少是由我们国内代工完成的。值得提及的是，记得有回看电视采访李敖，他给大家展示他随身携带的物品，除有照相机等外，还有的就是INOVA的X5。

XENO http://www. xenoled.com

其下拥有着两个独立的品牌，XENO与FARKA，XENO的定位是比较高端的，而FARKA的定位则是比较普遍大众型的，性价比不错。这也是一个刚刚起步不久的品牌，或者是为了拓展产品用户群吧，其现在的定价还是不错的，尤其是FARKA产品线的产品。其品牌整体的定位上比较注重细节，而其宣称的产品理念是“可靠才是第一要素”。该品牌刚刚提出的耐摔电路的理念在国内是比较新的，就是在1m高度下跌落在水泥地面上30次后，手电依然能够正常使用。同样值得提及的是，XENO品牌拥有着国内可以称之为最全的手电外围配件解决方案，而其刚刚推出的带过放保护的18650电池可以说是目前最为成熟的商业化18650电池了。这个新兴的品牌也在大胆地引用着新技术。

采用AA电池的手电FARKA E09有Tir系统及耐摔电路，价钱可以为非发烧友的群体所接受

Fenix http://www.fenixlight.com.cn/

提及被国外用户所接受的国货就必须要提Fenix L1+，此款于2005年推出的使用单节AA电池的手电有着划时代的意义，其优良的做工和可靠的质量使得Fenix禁受住了时间的考验，改变了国内外用户对于中国手电产品的偏见，为国货手电赢得了巨大的荣誉，L1+在CPF（全球最大的手电论坛，位于美国）被评选为05年最受欢迎手电称号。现在看来，L1+的意义不仅仅是一款手电，其成功的案例鼓舞了国内厂家，越来越多的精品国产手电陆续出现。此款手电早已停产，但这款手电也是据我所知的唯一一款现在的成交价远高于其最开始的官方出售价的手电。Fenix目前的产品线涵盖采用AA、双AA、AAA、CR123、双CR123、18650电池的各种产品，产品线比较齐全。

Fenix LI+

Fenix LIP

Jetbeam http://www.jetbeam.com.cn/

Jetbeam拥有良好的外观工业设计水品，而加工水平也非常不错。最初引起大家关注的产品是JET MKII，采用的还是Lumileds的LED，后期更新为CREE P4 LED，为国内最早的采用CREE LED的量产手电厂商。MKII 也有着较好的兼容性，可以采用一节AA电池，也可以添加加长筒而采用两节AA电池，或者换用短筒身而使用CR123大小的电池，可玩性很好。

JET MK II X，为MK II的升级版本

Nitecore http://www.nitecore.com

左起为NDI、D10、EX10以及Extreme3，左侧两个使用AA电池，右边两个使用CR123（16340）电池

一个新兴品牌，其最初的产品是NDI（中文译名为防卫者）。由于该品牌的整体生产规模较小，对于新技术的使用很大胆，正向开关与无极调光（输出从最高至最低之间可以任意调整）等都在该品牌手电上使用。

LED进化史

◎杜洋

大家好，我是杜洋。经过一年多的学习与实践，我又有了新的知识和经验要与各位朋友分享了。欣悉《无线电》杂志牛年一开年就“挂了彩”，可喜可贺，特此拙文一篇，聊表心意。读者朋友如果有什么疑问或需要我帮助的地方，请通过编辑部与我联系，相信我们会成为志同道合的好朋友。

图1 LED节能环保灯泡

图2 LED全彩色电视墙

LED发展史：一个世纪的等待

LED（Light Emitting Diode），中文名为发光二极管，它同时具备两种性能：一是二极管的单向导电性，二是正向导通时会发光。现代电子产品中随处可见它的光芒，它在你的电脑前面板上闪烁，它在你的右手下方为你的光电鼠标指明了方向，它是黑暗中新型手电里的一束光，它们中的一群组成了广场中央的电视墙。现在就让我们走进它的世界，了解它的历史，应用它的力量。

这话要从头说起，作为一名电子爱好者不只是学习技术上的知识，同时也应该了解电子行业的历史和发展，必竟我们属于这个群体，我们不应该忘记前辈们的努力。我花了九牛二虎之力，找到并整理了LED发展的历史资料，希望大家从中能概括了解LED在一个世纪中的演变。

1907年，英国马可尼(Marconi)实验室的科学家Henry Round第一次推论半导体PN结在一定的条件下可以发出光。这个发现奠定了LED被发明的物理基础。

1927年前后，俄国科学家奥列弗拉基洛谢夫（Oleg Vladimirovich Losev）独立制作了世界上第一颗LED，其研究成果曾先后在俄国、德国和英国的科学杂志上发表，可惜当时并没有人理睬他。天意弄人，1942年，39岁的洛谢夫在列宁格勒城被德军封锁时因饥饿而死。后来这段故事淡出了历史舞台，并把LED的“发明权”让位给了美国人尼克·何伦亚克。

1955年，美国无线电公司（Radio Corporation of America）33岁的物理学家鲁宾·布朗石泰（Rubin Braunstein）首次发现了砷化镓(GaAs)及其他半导体合金的红外放射作用并在物理上实现了二极管的发光，可惜发出的光不是可见光而是红外线，但这个贡献也很大了。

1961年，德州仪器公司（TI）的科学家鲍勃·布莱德（Bob Biard）和加里·皮特曼（Gary Pittman）发现砷化镓在施加电子流时会释放红外光辐射。他们率先生产出了用于商业用途的红外LED并获得了砷化镓红外二极管的发明专利。不久，红外LED就被广泛应用于传感及光电设备当中。现在我们家里的电视机遥控器就是用红外LED来实现遥控的。

1962年，美国通用电气公司（GE）一名34岁的普通研究人员尼克·何伦亚克（Nick Holonyak Jr.）发明了可以发出红色可见光的LED，他的名字也随LED的红光一起红了起来。因为何伦亚克的发明后来得到了广泛的应用，所以一般称他为“发光二极管之父”，后来也获得了N多奖项。当时的LED还只能手工制造，而且每只的售价

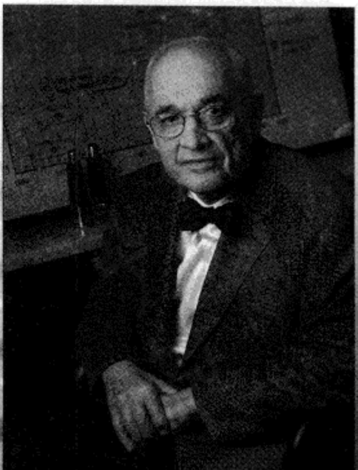


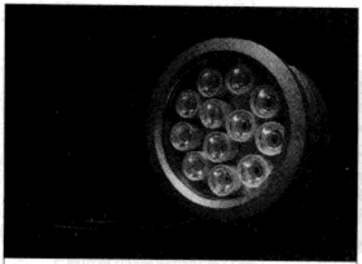
图3 尼克·何伦亚克

图4 中村修二

需要10美元。1963年，他离开通用电气公司，出任其母校美国伊利诺大学电机工程系教授，培养自己的接班人去了。

果然名师出高徒，1972年，何伦亚克的学生乔治·克劳福德（M. George Craford）踏着前辈们的脚步发明了第一颗橙黄光LED，其亮度是先前红光LED的10倍，这标志着LED向着提高发光效率方向迈出的第一步。克劳福德现在任职飞利浦Lumileds公司技术总监，算是功成名就见好就收了，把更多的机会留给了下一代儿童。

到了20世纪70年代末期，LED已经出现了红、橙、黄、绿、翠绿等颜色，但依然没有蓝色和白色光的LED。因为只有发明出蓝光LED才可能实现全彩色LED显示，蓝光LED的市场价值巨大，也是当时世界性的攻关难题。科学家们转而将重点放在了提高LED的发光效率上面。20世纪70年代中期，LED可产生绿、黄、橙色光时，发光效率为1流明/瓦，到了20世纪80年代中期对砷化镓和磷化铝的使用使得第一代高亮度红、黄、绿色光LED诞生，发光效率已达到10流明/瓦。



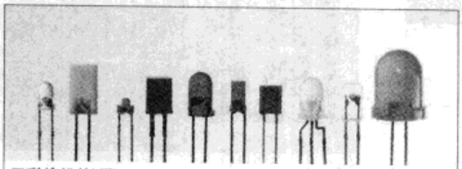
高亮度LED聚光灯

1993年，在日本日亚化工（Nichia Corporation）工作的、39岁的中村修二（Shuji Nakamura）终于发明了基于氮化镓和铟氮化镓的具有商业应用价值的蓝光LED。凭借此项发明，他荣获2006年千禧科技奖，这相当于科技界的诺贝尔呀！不久后，人们在蓝光LED的基础上加入黄色荧光粉，就可以得到白色光LED，利用这种荧光粉技术可以制造出任何颜色光的LED（如紫色光和粉红色光）。蓝色和白色光LED的出现拓宽了LED的应用领域，使全彩色LED显示、LED照明等应用成为可能。中村修二现在任职美国加州大学教授，因为和日亚化工在专利权问题上打官司赚了一大笔钱，现在算是名利双收了。看来有重大发明的人，后来的下场都很不错，除了可惜的洛谢夫。

21世纪初，LED已经可以发出任何可见光谱颜色的光（还包括有红外线和紫外线）。其发光效率已经达到100流明/瓦以上。也许正在你阅读这篇文章的时候，就有一款更高性能的LED产品问世。从1907年半导体PN结发光理论的提出，到今天LED技术的无处不在，期间经历了整整一个世纪。在这个LED的世纪里，有不计其数的研究人员为LED的发展付出了心力，LED所带来的经济效益和科技发展是无比巨大的。当我们有幸在电子市场可以花几毛钱买到一款LED的时候，请别忘记前辈们的卓越贡献。

种类与规格：五花八门

突然你眼前跳出一位阿姨，微笑着问你需要什么，两旁是密密麻麻、各式各样的元器件。你说你想买LED，



五彩缤纷的LED

她会问你是不是要发光二极管呀？要什么型号的？什么颜色的？国产的还是进口的？ϕ3还是ϕ5的？普通的还是高亮的？1W的还是3W的？单色的还是双色的？共阴的还是共阳的？红发红的还是白发红的？贴片的还是直插的？……如果你面对这一大堆问题而回答不知道的话，她一定会白你一眼然后对你说：“你还是先去看一下杜洋写的《LED总结报告》之后再来买吧！”

是呀，如果你真的不清楚，你是应该仔细看看我下面的文章。LED发展到今天，已经形成许多种类和规格，本文我将选取市场上常见、爱好者常用的LED产品来详细介绍一下，希望对初学者有所帮助。LED的化学材料、生产工艺等内容因为与实际应用涉及不多，所以本文不作介绍，有兴趣的朋友请参考其他资料。

LED的核心只是一个小小的PN结，普通的LED的核心只有一粒沙子的大小。而我们在市场上买到的LED已根据不同应用需要而外加了封装。最常用的LED封装形式有两种——直插式和贴片式（SMD），其中直插式的目前应用最广，以至于有些爱好者一提到LED就马上想到高高的草帽下面长着两条脚的东西。但随着贴片技术的发展，产品不断精小化之后，贴片LED封装将会成为主流。

1. 直插式LED
——始终很流行，从未被取代

常用的直插封装LED规格有ϕ3、ϕ5、ϕ8、ϕ10，指的是直插式LED帽身的直径尺寸（单位是mm）。其中最最常见的是ϕ5型LED产品。因为直插式LED的造型是根据最终产品需要的LED指示灯在外壳上的孔径大小决定的，所以你在选择时，要视你的应用来选择。直插式封装有几处设

计是用来在外观上区分LED极性的。如图5所示，单色直插式LED帽沿的切边一面下方的引脚是LED的负极；在未焊接之前，引脚短针一边是LED的负极；单色直插式LED的外壳颜色一般有带颜色的和透明的两种，例如一款红色光直插式LED，如果外壳也是红色则称为红发红LED，如果外壳是透明的则称为白发红LED。依此说法就有了绿发绿、白发绿、白发蓝、白发白等规格。有色外壳一般直接用作指示灯，透明外壳多用于聚光照明或需要光学传导的场合。台式电脑机箱上的电源指示灯是有色外壳，光电鼠标底部的红光LED是透明外壳的，因为LED前面还有一块折射镜结构的组件，将光导向指定的区域。

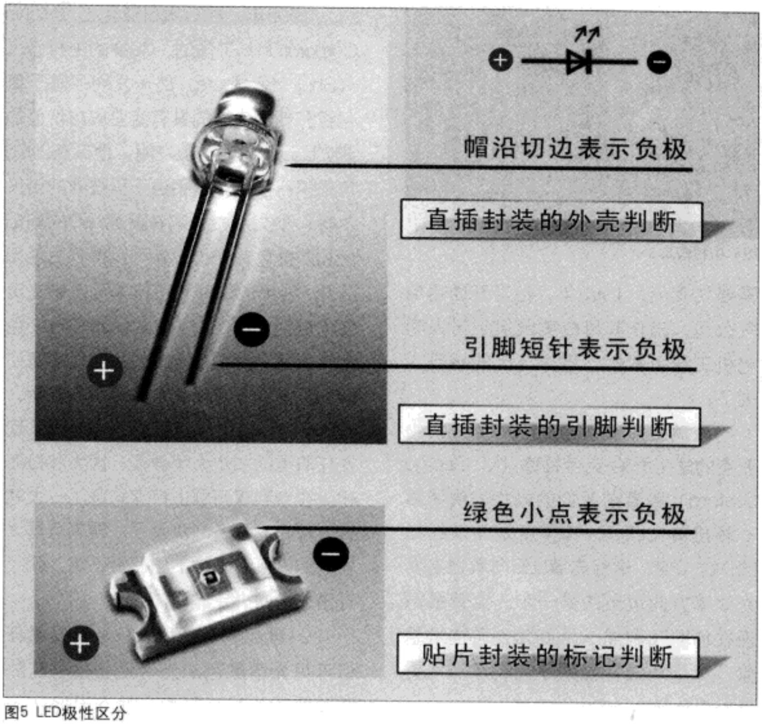


图5 LED极性区分

2. 贴片式LED——微型电子产品的必备之物

常用的贴片式LED封装规格有0603、0805、1206，指的是贴片LED基座PCB板的长宽尺寸，如0805指贴片LED的基座PCB板的长宽尺寸是2.0×1.25（单位是mm），详见表1。

因为贴片LED是直接贴装在电路板上，不能延伸到外壳上，需要由导光组件将光引导至外壳上指定位置，所以一般的贴片LED封装都是透明壳体。还有一些设计者把贴片LED排成阵列来制作小型的LED显示屏，这也是一种用法。单色贴片LED封装中，有绿色（或蓝色）小点的一侧引脚为LED的负极，如图5所示。

3. LED显示屏——动静“显”中求

前面所讲的是将LED封装成点光源，用于照明和状态指示。下面介绍几种常见的将LED封装成阵列，用于信息显示的器件。许多初学者朋友都会在LED数码管和点阵屏的原理上晕倒，所以下面我重点介绍一下它们。

首先我们来说一下LED数码管，这是我小时候最早见过的LED显示器件，还记得那是在一台水泥搅拌机的控制面板上，一个会发光的数字吸引了我，我惊奇地发现就在那7个条条所组成的“8”字上，可以显示出从“0”到“9”十位数字，发明这个的人简直太有才了。后来才知道，我看到的那种叫LED八段数码管（其中七段显示数字，一段显示小数点），除了数字之外还可以显示A、b、c、d、E、F等英文字母，如图6所示。后来又知道了还有一种17段数码管可以显示数字、字母和特殊符号，我见过用17段数码管作为显示屏的“大哥大”，现在想起来挺搞笑的。LED数码管从段码数量上分为7段、8段、15段和17段；从位数上分有1位、2位、4位、8位等，从极性上分为共阴型和共阳型，从显示方式上可以分为静态显示和动态显示，从颜色上分为单色、双色和三色等，从尺寸上分类则各式各样、应有尽有，如图7所示。

表1 贴片LED型号与尺寸关系

型号	长度与宽度尺寸（mm）
0603	1.6×0.8
0805	2.0×1.25
1206	3.2×1.6
1208	3.0×2.0
1210	3.5×2.8

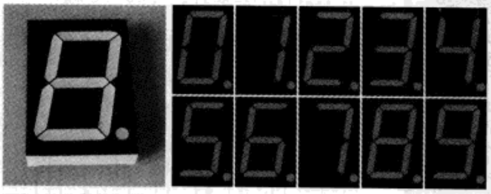


图6 LED八段数码管

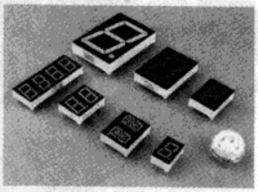


图7 各种规格的LED数码管

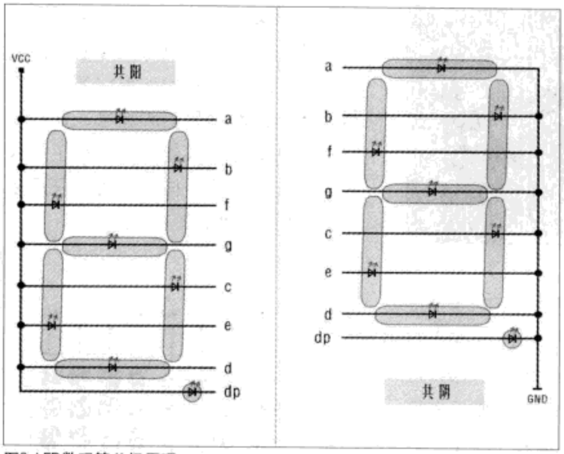


图8 LED数码管共极原理

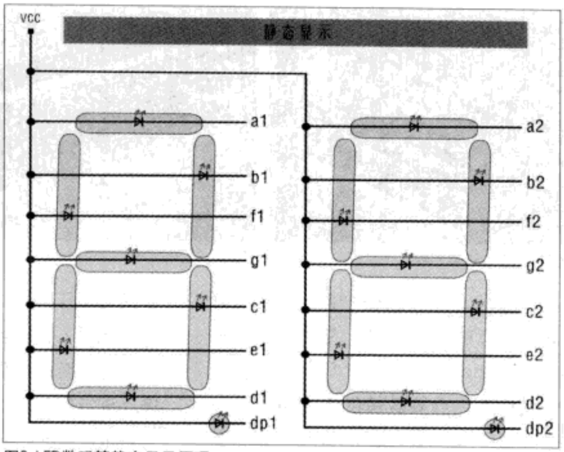


图9 LED数码管静态显示原理

LED数码管不管是多少位连在一起的，都会有一个共阳或共阴的问题。如图8所示，为了节约数码管模块的引脚数量，就将每一个段码的所有阳极或阴极并联在一起，形成一个公共的阳极或阴极。在制作电路和购买元器件的时候一定要了解你所用的数码管是共阳还是共阴。如果购买2位或2位以上的数码管时，除了极性问题外还要考虑驱动方式的问题。我们以共阳的数码管为例，将2个共阳数码管的阳极端并联在一起，把每个数码管的所有段码的阴极都引出来，这样就形成了静态显示所需要的数码管结构，如图9所示。静态显示方式适合在采用数字集成电路来驱动显示的电路中使用，只要将共阳极接到电源上，然后分别用数字集成电路来控制各段码的阴极接地，就可以实现数字的显示了。还有一种显示方式，是将各对应段码的阴极并联在一起，而将每个位码的公共端阳极分开（VCC1、VCC2）。如图10所示，当希望第1位数码管显示数字“3”的时候，只要在VCC1端加高电平（VCC2端断开），并在公共阴极端对应“3”的段码（a、b、c、d、g）接地即可。当希望第2位数码管显示数字“7”的时候，只要在VCC2端加高电平（VCC1端断开），并在公共阴极端对应“7”的段码（a、b、c）接地即可。当用单片机或其他处理器控制，将切换速度变得足够快时，我们的眼睛就会感觉“3”和“7”是同时显示的了。因为这种显示方式需要高速的切换显示，所以得名“动态显示”，相对的前一种方式被称为“静态显示”。动态显示方式不论是多少位的数码管，在同一时间内只有其中一位被点亮，所以比较省电。但却需要高速度的电路来驱动，不过在单片机技术盛行的今天，用单片机或是专用的动态显示驱动芯片来驱动数码管已经不是问题（常用的LED数码管显示驱动芯片有MAX7219、CS7219等）。注意在购买数码管时要问清数码管的公共极性，第一次使用的数码管应先用万用表测试各段码和引脚的对应关系。

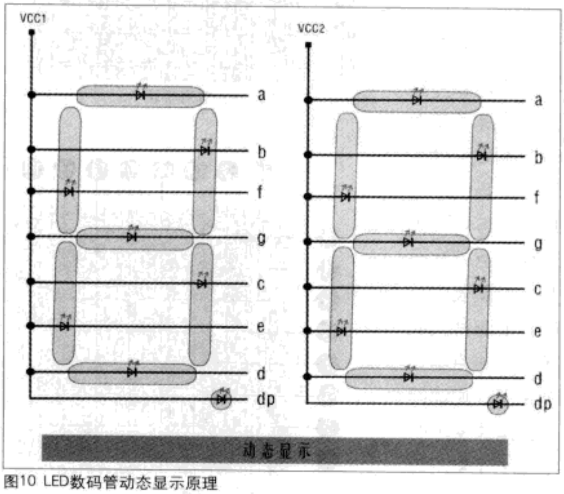


图10 LED数码管动态显示原理

下面说说LED点阵屏，LED点阵屏由多只LED以阵列的形式封装在一块平面上，通过对应点的点亮和熄灭来组合出各种字符和图形，如图11所示。它的应用就很常见了，比如城市广场上经常会看到的电视墙、地铁和公共汽车上的信息显示屏，都是使用LED阵列显示屏模块组成的。LED点阵屏有各种颜色（常用的有红色、绿色、蓝色），也分为单色、双色（常见的是红、绿组合）、三色（红、绿、蓝组合实现全彩显示），有普通亮度和高

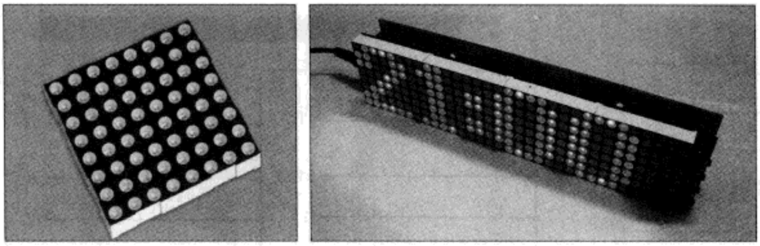


图11 LED点阵屏外观

亮度之分。尺寸规格一般按LED点阵屏中各点的直径区分，常用的单点直径有3.0mm、3.75mm、5.0mm等。同一模块上的点阵数量的不同也可分为8×8点、16×16点、5×7点等。如图12所示，是单色LED点阵屏的内部结构，图中可以看出LED在内部的连接也是以阵列的方式连接，这种连接方式适合采用遂行扫描的方式来实现显示。LED点阵屏的驱动，也是单片机初学者必修的一课。当初我在学习单片机的时候，最有兴趣的就是LED点阵显示屏的制作，于是看了下它的结构和原理之后就去电子市场买件了。还是那个微笑的阿姨，我说想买一款8×8、单红色、普通亮度、ϕ3.0mm的点阵屏。没想到她问我是共阴还是共阳的。我晕，我看过点阵屏的结构原理，它是阵列式接线方式，没有分共阴和共阳呀！我吱吱唔唔半天说不出话来。还算我聪明，最后说共阳和共阴的各买一片。也好回去研究一下是怎么回事。结果发现是一样的，我又一次晕倒。后来经过高手的指点才明白，LED点阵屏所谓的共阴和共阳是指双色和三色屏来说的，因为双色和三色屏需要在同一个点里多出1或2个颜色的LED，为了节省引脚数，就将同一点里的多个颜色按共阳或共阴方式并联，如图13所示。而单色屏因为没有公共端，所以不存在这个概念，如图14所示。原来阿姨也不太明白，改天告诉她一下。

LED点阵屏的驱动方式和LED数码管动态显示的方式很相似。我们以8行×8列的LED点阵屏为例，当8行全部接入高电平，8列全部接地时，LED点阵屏上的所有点点亮。当我们只将第1行接入高电平，8列全部接地，则只有第1行的8个LED点亮。如果我们在这时只希望第1行的前4列点亮，就可以将前4列引脚接地，后4列引脚断开。按照动态显示的原理，要显示第2行的信息时，就将第2行对应的列引脚接地或断开，依此类推就可以任意控制8行、8列的64个LED的点亮和熄灭，当切换显示的速度足够快时，眼睛就会感觉所有点亮的LED是同时显示的。这种显示方式同样需要高速的单片机来实现动态切换，行列数量越多，需要的处理速度就越快。LED点阵屏封装的后面引脚数量不一，一般的8×8单色点阵屏有16个引脚（8个行引脚和8个列引脚），如图14所示。8×8双色共阴或共阳的点阵屏有24个引脚，如图13所示。LED点阵屏的引脚在封装上并不是按行列顺序排列的，所以在初次使用某一型号的LED点阵屏之前，应向商家索取LED点阵屏的资料。如果不是专业卖LED点阵屏的商家可能也没有什么资料，那就要靠我们自己灵巧的双手和万用表来测试了。以数字万用表为例，把万用表调整到二极管测试挡，将红表笔放在某个引脚上，黑表笔分别按顺序接在其他各引脚上测试，同时观察LED点阵屏是否有某点被点亮。如果发现没有任何LED被点亮，则调换红、黑表笔再如法炮制。如果发现有LED被点亮，则这时红、黑表笔对应的引脚正是被点亮LED所在的行列位置及正负极关系。把这个对应关系记下来，再测试下一个引脚。最后你会得到一张图表，如图13和图14所示，黑色圆圈里的数据是引脚编号，它们和行、列的对应关系就一目了然了。双色屏的测试也是一样的方法，只是多了一个共阴、共阳关系而已。

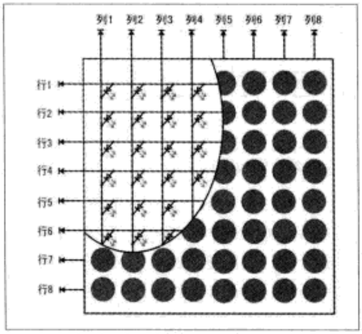


图12 LED点阵屏内部结构

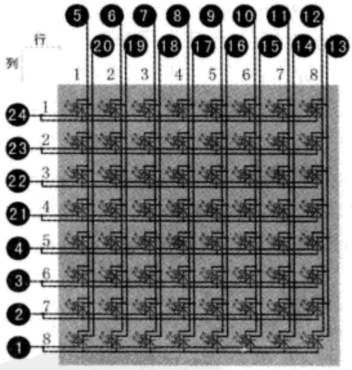


图13 双色共阳LED点阵屏模块

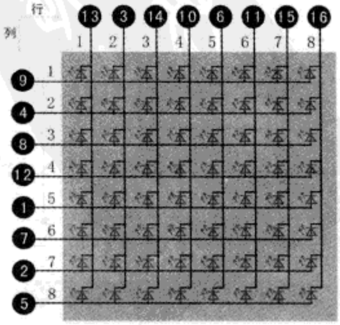


图14 单色LED点阵屏模块

大功率LED：照明产品的未来

如图15（a）所示，大功率LED器件是目前新兴的LED产品，主要被用在照明方面，希望可以打造新型的节能照明产品。目前这项技术还不是很成熟，主要是因为大功率LED虽然亮度高，但是发热量也大，价格也比较贵，除了高品质的大功率LED外，普通的大功率LED在同等亮度的情况下，其节能效果还不如荧光管节能灯。人们主要看重的还是它的体积小、寿命长、环保和性能不断提高等特点。由于全球正在逐步禁止白炽灯泡的使用，所以LED成为未来照明新光源的发展潜力不容小视。

目前在电子市场上可以买到各种型号和规格的大功率LED，有0.5W、1W、3W、5W、10W等，颜色也是五彩斑斓的，最常见的还是白色光的。大功率LED是比较难伺候的，我们要考虑散热问题、驱动电路问题和光线

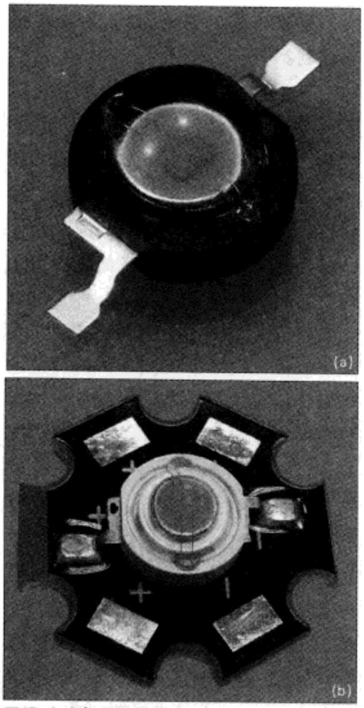


图15 大功率LED和散热片

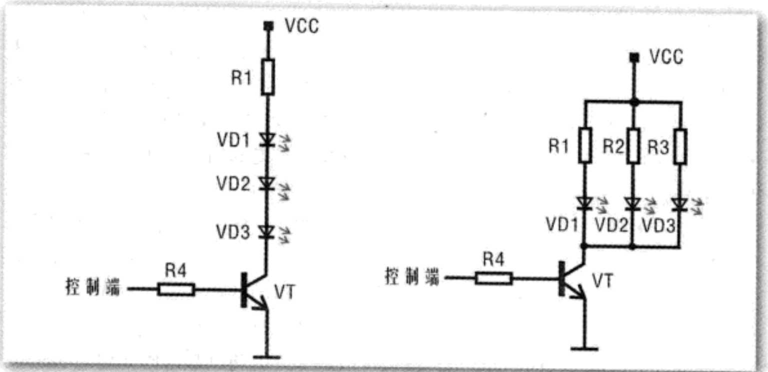


图16 多支LED的串、并联驱动电路

处理问题。要想弄明白，就得再写一篇文章来细谈了，这里仅简单介绍一下。

大功率LED的散热问题是很重要的，散热问题处理不好就会大大降低LED的使用寿命，所以需要给LED加装散热片。可能有的朋友不理解了，LED不是不会发热吗？怎么会有散热的问题呢？是的，普通的LED是不存在散热问题的，而大功率LED就不同了，因为里面复杂的一大堆技术原理推导出来的结论是大功率LED会发热，而且不及时散热就会影响寿命。如图15（b）所示，像日本电影中黑衣忍者甩出的飞镖一样造型的东西就是LED的散热片，大功率LED封装的底部金属基座与散热片紧密连接，散热片上还有一片简单的PCB结构，用来焊接LED引脚和接线焊盘。就一般环境下的使用而言，加装了这种散热 片之后，就可以解决散热问题，下面还要考虑的是驱动问题。普通的LED只需要保证1.4～3.8V的驱动电压，并保证流过LED的电流在10～30mA左右即可（LED生产标准不同，参数也有所不同，此处仅给出一般参数）。而大功率LED的驱动电压各不相同，有3.8V、12V等，一般多采用恒流源来驱动，市场上已经有成熟的专用于驱动大功率LED的恒流源驱动芯片和电路板产品，根据性能不同，价格在10到50元不等。这部分内容较多，细讲起来就得到后半夜了，所以还是留到以后和大家分享吧！

关于LED的其他介绍

1. LED与限流电阻

自从认识 LED 以来，在每一个有 LED 的电路中都会发现一只与 LED 串联的电阻，经过打听得知这是一只限流电阻，是为了保护 LED 不被过高的电流烧坏而设计的。普通的 LED 应保证其工作在最小驱动电压值以上，工作电流在 10 ~ 30mA。所以严格来讲，限流电阻的阻值也是需要计算的。电阻值计算公式是：$R=(V_{CC}-V_F)/I_F$，其中 V_{CC} 为电源电压，V_F 为 LED 正向驱动电压，I_F 为 LED 正向工作电流。例如我们常用的 5V 电源 LED 指示灯要用的限流电阻的值是多少呢？假定我们所用的 LED 正向驱动电压是 3V，工作电流希望保持在 20mA，则 $R=(5V-3V)/0.02A=100\Omega$。我们到市场上购买阻值为 100Ω、功率在 1/8W 或 1/4W 的碳膜电阻就可以了。当驱动多只 LED 的时候，根据串联或并联的方式不同，V_F 或 I_F 需要积加后计算。

2. LED驱动

一只LED的驱动是比较容易的事情，只要将LED和限流电阻串联到电源和控制端即可。而多只LED需要驱动

时，控制端口就不能承受如此大的电流了，所以需要为多只LED的应用专门设计驱动电路。如图16所示是多只LED串、并联的驱动电路。制作电路时应根据串联或并联的LED数量来计算各元器件的参数。

还有一种情况，是用低电压来驱动多支白色光LED，这种情况多出现在手机液晶屏背光灯、LED手电照明等电池供电的设备中。因为电池供电设备的电压低，而白色LED的驱动要求又较高，所以人们多采用专用的LED低压驱动芯片来实现设计。在《无线电》杂志2009年第1期的手电专题中有这方面的介绍。

3. LED与温度

一般情况下，LED的存放温度在-40℃～85℃，工作温度在-20℃～70℃。在焊接LED时最好选择30W以下的电烙铁，焊接温度不得超过300℃，一次焊接的时间不得超过3秒钟，焊接点的位置至少离胶体外壳2mm以上。贴片LED在焊接时最好不要用热风枪来焊接或拆卸，不然很容易损坏。

4. LED的创新应用

许多电子元器件都具有其原理的反向应用，比如我们发现动圈式扬声器可以当作话筒，电动机可以当作发电机等。前不久，我在网上发现了有人竟然将LED当作光电二极管来使用。光电二极管是可以根据外界射入的光线强度而输出不同阻值的元件。这个创新的设计是将LED与微处理器相连，使LED以高速亮、灭闪烁。在LED点亮时，将LED当作普通的发光二极管使用，微处理器提供电流使之点亮。在LED熄灭时将LED当作光电二极管使用，微处理器中的AD转换器检测LED的反向电流大小。当LED阵列屏上没有非透明物体时，LED（作为发光二极管）点亮时的光不会反射给熄灭状态时的LED（作为光电二极管）。当LED阵列屏上有非透明物体时，LED（作为发光二极管）点亮时的光将会反射给熄灭状态时的LED（作为光电二极管），产生反向电流并送到微处理器。物体的反射能力与距离所导致的反射强度也将被送入微处理器。这样的设计就可以实现用普通LED达到输入、输出功能。但该项技术还有待成熟，灵敏度差和环境光线的干扰是需要进一步解决的问题（大家可以到以下链接观看其演示视频：cs.nyu.edu/~jhan/ledtouch/）。

LED的部分重要参数表

名称	单位	说明
正向工作电流	I_F	LED正常发光时的正向电流值。在实际使用中应根据需要选择 I_F 在0.6 I_{Fm} 以下
正向工作电压	V_F	正向工作电压是在给定的正向电流下得到的（一般是在 I_F=20mA时测得）。在外界温度升高时，V_F将下降
V-I特性		发光二极体的电压与电流的关系，在正向电压小于某一值时，电流极小，不发光 当电压超过某一阀值后，正向电流随电压迅速增加，发光
发光强度	I_V	发光强度通常是指法线（对圆柱形发光管是指其轴线）方向上的发光强度
光谱半宽度	$\Delta\lambda$	它表示发光管的光谱纯度
视角		指LED发光的最大角度，根据视角不同，应用也不同，也叫光强角
最大正向直流电流	I_{Fm}	允许施加的最大正向直流电流。超过此值LED可损坏
最大反向电压	V_{Rm}	允许施加的最大反向电压。超过此值LED可能被击穿损坏
工作环境	t_{opm}	LED可正常工作的环境温度范围。超出此温度范围，LED不能正常工作，效率降低
允许功耗	P_m	允许施加在LED两端正向直流电压与电流之积的最大值。超过此值，LED发热、损坏

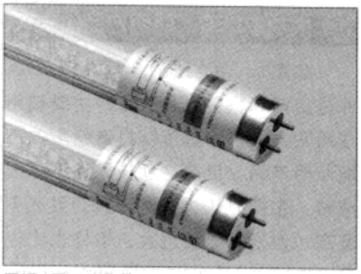


图17 LED日光灯管

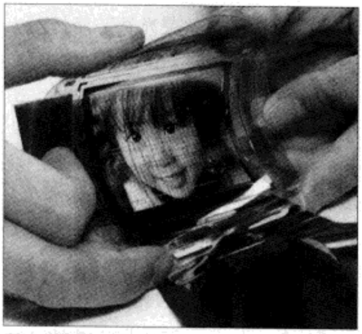


图18 OLED显示屏

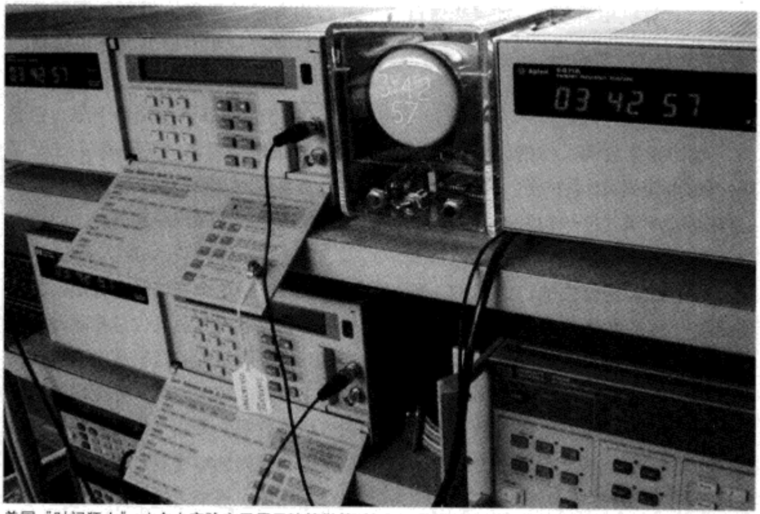
5. 特殊LED

现在市场上的LED产品种类已经丰富到不得了。出现了一些将专用的控制芯片直接和LED封装在一起，可以实现自动变色、自动闪烁功能的LED产品。通过特殊的导光材料将LED制作成条形、带形，用来取代传统的霓虹灯。如图17所示，将LED镶嵌在传统日光灯管中，可以代替传统的日光灯管。如图18所示，还有一种有机发光二极管（OLED），它可以实现将发光体制作在很薄的薄膜上，这项技术可以让未来的显示器可以像纸一样折起来放在口袋里，需要用的时候再展开，OLED的前景巨大，但还有待研发。在未来，LED将更小、更亮、更节能，它将会进入到我们生活的方方面面。说不定几年之后我们就会在家里用着LED的电灯，戴着LED的眼镜，穿着LED的睡衣，看着LED制作的《无线电》杂志。诸君莫笑，在LED技术高速发展的今天，一切皆有可能！

如何建立自己的时间和频率标准

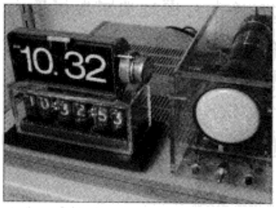
◎张利民（BG2VO）

编者的话：约张利民老师写这个《如何建立自己的时间和频率标准》已经半年有余，终于在第5期上让这个专题与读者见面了。追随张老师在HELLOCQ论坛里的“热帖”已经很久，为什么要做这个帖子，追求高精度的时间和频率到底有什么用途，张老师在论坛上的回答是：——人们对精度的追求总是无止境的。利用它可以：1.做一个时钟，多少年也不差1s。至于几万年不差1s也许是我们用不到的，但做到50年不差1s还是有实际意义的，那样你的表就永远不用调整了。2.频率计等仪器的精确校准。3.与类似高精度的时间频率基准作对比，比如有一个高级信号发生器，还有一个温补晶体振荡器，到底哪一个好？4.测量晶体振荡器的各种不稳定因素，比如老化率、温度特性。还是那句话，电子爱好者的爱好不仅可以很广泛，而且还可以很深入。让我们在这个专题里找找更详尽的……



美国“时间狂人”tvb个人实验室里用示波管做的时间显示器及正在工作的几台安捷伦5071

时间是我们每一个人在日常生活中不可缺少的。每当整点钟的时候，收听广播的收音机便会播出“嘟、嘟……”的响声，提醒人们校对自己的钟表。那么，广播电台里的正确时间是哪里来的呢？假如你很长时间不听广播、不去对表，你的手表还能准确吗？能做到每个月误差多少？本文所要阐述的，就是这些问题，并为解决这样的问题提供一些方法和思路，使得个人也可以拥有运行很多年也不差1s的时间标准和相应的高准确度的频率标准。当你做出比广播电台、电视台还要稳定的标准时，当你发现原来以为非常准确的报时信号原来慢了两秒的时候，当你发现时钟慢了一秒原来是闰秒造成的时候，你会陶醉的。



丰富而独特的时间显示方法

为什么要建立自己的时间标准？

自古以来，人们对时间的追求就从未停止，比如从最早的日晷、漏壶，到近代的摆钟。对比古代，现代的人们对时间有了更准确的把握，比如很廉价的电子表，其每天的误差一般不会超过1s。但是，人们对精度的追求总是无止境的。有了自己的时间和频率标准，就可以对自己的频率计、信号发生器、综合测量仪等仪器做精密的校准，进而对电台的内部频率标准做出矫正，要知道现代电台对发射频率的偏差和稳定度的要求是非常高的。有了自己的时间和频率标准，就可以校准自己的时钟，或者干脆自己做一个高准确度的时钟，让它在生命周期内永远准确。当然，业余条件下做到运行上万年不差1s也许是我们用不到的，也不一定能做得到，但做到50年不差1s还是有实际意义的，那样在你的一生中就永远不用调整你的时钟了，这相当于只有6E-10的误差。在计量的几个原始单位中，只有时间和频率是唯一一个我们有可能自己拥有达到1ppb的标准。对于其他几个物理量（比如长度、质量、电流等），个人拥有1ppm的标准都是非常困难的。有了高精度的时间和频率标准，我们就可以对各类频率源作出比较判断，比如到底谁的准确？谁的稳定？同时，我们也可以有意地改变一些外界参数，用来测量分析频率源、信号源的变化特性，比如测量晶振的温度系数、稳定度、老化特性等。

时间频率标准必备知识点

◎张利民（BG2VO）

在建立个人时间频率标准之前，有些知识点是必须要了解的，这样更便于您在建立个人时间频率标准之路上走得更远。

误差与准确度

误差和准确度就是偏离正确值的量化值。当误差比较小的时候，我们一般用百分之几、千分之几来表示。但时间和频率的误差通常是很小的，我们至少要用百万分之一来表示，或者干脆用科学记数法来表示，比如2.3E-9，就是表示2.3后面再向前移动9个小数点，也就是0.000 000 002 3。另外，我们也常用多少年不差1s的表述方法来描述时间误差。常见的表示方法有：**1. ppm**，ppm是parts per million的缩写，意思为百万分之一，即10的-6次方。**2. ppb**，ppb是parts per billion的缩写，意思为十亿分之一，即10的-9次方。**3. 科学表示法**，即直接用10的负多少次方来表示，例如5.3乘10的-9次方可以写成5.3×10E-9，简写为5.3E-9。**4. 换算关系**：

1ppm = 1000ppb = 1E-6 = 每天误差0.09s = 每年误差31.5s；

1ppb = 0.001ppm = 1E-9 = 每天误差0.09ms =每年误差0.03s。

基本要素和条件

1. 一个属于自己的内部独立标准，一般是一个稳定准确的振荡器，用来保持、复现时间和频率。

2. 至少1个外部同步校准源，用来实时（随时）或者定期与外界时间标准进行同步和校准。

3. 1个频率比较和计量仪器，一般是频率计，用来显示频率，对比内部标准和外部标准。当然，也可以对比自己的多个内部标准或者多个外部标准，也可以用来测量其他的与频率时间相关的设备。

4. 时间显示设备，可以直观、稳定、准确的显示时间。

5. 计算机相关系统（如果想做自动测试或自动记录的话）。

指标参数

我们经常会问，你的时间标准好吗？我的标准是否比你的差？那么具备什么样指标的标准才是一个好的标准呢？

1. 频率不随温度等环境因素而变化。这个要求是首位的、必然的。即便温度补偿的晶体振荡器，在常温范围内（比如10~35℃）也有0.5~2ppm的误差，做成钟表就相当于每年误差30s左右。现在有些高精度的电子手表，年差在10s之内，相当于0.3ppm，这是很不容易的高技术。

为了追求更高的温度稳定性，恒温晶体振荡器应运而生。由于把内部的晶体包括振荡电路等都加热密封在一个温度相对恒定的环境下，因此该器件受外界温度的影响大大减少，在室温下可以做到1~10ppb的量级。除了温度以外，频率标准也不应该随大气压、湿度等条件而变化，尽管这些条件与温度比较起来占次要地位。

2. 频率不随时间而变化。这实际上就是频率标准的老化问题。频率尽管很准确，也不随温度变化，但时间一长就变化了，那也不行。因此，老化率是另外一个重要指标。短期的老化率是比较一天的变化，成为日老化率，中期的一般看月老化率，长期的看年老化率，甚至还有看更长期的。

3. 短期频率要稳定。短期不稳定的振荡器主要表现为在不同时间的频率不一样。最常用的衡量间隔是1s，称为秒稳，也就是连续以1s为间隔测量相邻两次采样频率的变动，然后进行均方根的运算，得到所谓阿伦方差。一般好一些的恒温晶体振荡器，这个变动不会超过0.1ppb，这已经超出绝大多数9位频率计的测量下限。但普通温补晶体振荡器的短期稳定性都不好，甚至达到10ppb以上，大多数是由于补偿网络的热噪声引起的。

有一个笑话说，某人用过HP/Agilent53132A这个高档频率计后，说不好用，原因就是最后几位总是跳动。其实这正像高灵敏的收音机在没有电台的情况下噪声非常大一样，你能说这样的收音机不好吗？最后几位数字的跳动主要是因为其内部标准是个很简单的温补晶体振荡器，再加上被测量的信号短期稳定度也不好造成的。作为标准，必须自己在短期内也非常稳定，才能在测量的时候让最后的显示位也不跳动。

4. 准确度高。时间标准的准确度指频率实际值与真值的偏离程度。很多标准是可以微调的，但要注意的是，准确度必须以稳定度为基础，没有稳定的标准，调节得再好也是暂时的，因此，不要片面地追求准确度而忽略了更重要的稳定度。

其他的指标，比如输出信号幅度波形好、体积小、功耗低、寿命长、工作环境宽等。这些对于频率标准来讲并不很重要。

常见的频率比较仪器——频率计

◎张利民（BG2VO）

衡量一个频率计的优劣首先要看其功能。常用的频率计都会有频率与周期测量功能，能满足一般的测试需要。高档的频率计一般称自己为多用计数器（Universal Counter），大多具备两个相同的通道，可以测量信号的脉冲上升/下降时间和占空比，可以计数，甚至具备统计分析功能。增加了第二通道后，就可以比较两个信号，比如测量时间间隔、相位比较、直接频率比较。当然，多数频率计的直接频率比较功能并不好用，主要是由于测量结果的有效位数太少。

我们最常见的普通频率计大多是8位的、可以选择闸门时间的，内部时钟频率是10MHz，靠计数来测量频率。比如我们可以选择1s的闸门时间，那么10MHz的信号1s钟计数10 000 000，这样就分辨到了1Hz。若把闸门时间加大到10s，就可以计数100 000 000，实际上是10 000 000.0Hz，这样就分辨到了0.1Hz。为了提高分辨力,比如提高到0.001Hz，就势必要把采样时间增大到不可忍受的程度，因此事实上这样的频率计也很少提供超过10s的闸门时间。另外一方面，假设被测量的频率很低，比如10kHz，那么1s中我们只能读到10 000，只有4位有效数字，前面的位数都为空，相对分辨力就比较低了，所以，即使这样的频率计位数多了，在这种场合下也不能发挥作用，因此也不适合作为精密的频率对比。

更高档的就是所谓等精度的频率计，一般是9位的，比如Racal Dana公司的1991/1992，无论测量10kHz的信号还是10MHz的信号，有效位都保持不变，在1s的闸门时间下，1kHz信号会显示1 000.000 000，分辨率达到1μHz，10MHz信号会显示10 000 000.00，分辨率为

Racal Dana公司的1992

0.01Hz，同样也有9位的有效位数，因此1991/1992具备在任何频率下每秒分辨同样的9位有效数字的本领，因此称为等精度频率计。

事实上，由于时间和频率的精确计量和比较需要很高的位数，因此衡量频率计最重要的参数之一就是这个每秒能分辨出多少位的测量速度。用一个每秒8位的频率计要想分辨出10位，势必要测量100s，如果要比较到11位或以上，那就需要等待1 000s甚至更长的时间了。高档频率计一般都具备时间间隔的测量功能，这样才可以用测量两个事件的发生时间，精确地比较两个事件。

衡量这个能力的是另外一个重要指标是单次时间分辨能力。所谓单次，就是不重复的。重复的信号可以通过平均法来更准确地得到结果，但往往我们需要在比较长的周期内比较两个信号，来统计这两个信号的差别，因此必须考虑单次分辨能力。表1列出了常见的等精度频率计的几个参数的比较。

表1 常见等精度频率计功能比较表

指标说明

	厂家	Racal-Dana	HP/Agilent			Fluke	SRS
	型号	1991	5335A	53131A	53132A	PM6685R	SR620
功能	时间间隔	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
	脉冲宽度	-	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
	上升下降	-	★★★	★★★	★★★		★★★
	频率	★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
	频率比	★★	★★★	★★	★★	★★★	★★★
	周期	★★	★★★	★★★	★★★	★★★	★★★
	相位	★★★	★★★	★★	★★		★★★
	计数	-	★★★	★★★	★★★	★★★	★★
	占空比	-	★★★	★★★	★★★	★★★	-
	算术运算	★★★	★★★	★★★	★★★		★
	数字键盘	★★★	★★★	-	-	-	-
	统计分析	-	★★★	★★★	★★★		★★★
	存储	★★	-	★★	★★	★★	-
	外部标准	1	1	3	1	1	1
	其他功能	★	★★	★★	★★	★★★	★★★

★★★：完全功能，★★：部分功能受限，★：局限功能，－：无此功能，（空）表示不得而知

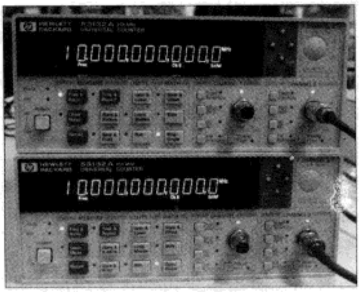
表1中提到的几款频率计都在我国有一定拥有量，因此二手市场也是比较流行的几款。下面再作一个简单的介绍。

HP5335A是12位的老型号的频率计，操作简便，功能强大，工作

表2 常见等精度频率计性能比较表

厂家	型号	显示位数	溢出位	速度(位/s)			秒稳	10MHz分辨和闸门		分辨与误差，ps		
				指标		10M		μHz	s	LSD	rms分辨	误差
Racal-Dana	1991/1992	9	2		2E-10	9	2E-10	1 000	10	1 000	1 000	3 000
HP	5335A	12	0	9	1E-10	8.5	1E-10	100	300	1 000	1 000	
Fluke	PM6685R	10	2	10	1E-10		1E-10			100	250	
HP/Agilent	53131A	12	2	10	3E-11	10	3E-11	1	120	100	500	750
HP/Agilent	53132A	12	5	≤12	3E-12	11	3E-12	0.001	800	10	150	300
SRS	SR620	16	0	11	4E-11	11.5	4E-11	1	50	4	25	100
HP	5370B	12	0	11	3E-11	11.5	3E-11	10	10	10	20	80

SRS SR625高分辨频率计



HP53132A

可靠，是一代比较经典的频率计。尽管体积偏大且性能不及新一代的频率计，但社会上拥有量不少，二手市场上也经常可以见到，价格相对不贵。

HP/Agilent 53131A是最流行的现代高档12位频率计，二手市场也常见，价格一般要6 000元或以上，功能繁多，性能良好。很多人对这款频率计有个误解，就是认为它是10位的。事实上，从显示上看是真正12位的，只不过“测量速度”这个技术指标为每秒10位而已，实际上经过测量可达到每秒10.5位，比如1秒闸门测量5MHz信号时显示5 000 000.000 0Hz，比指标值要好。由于速度比较快，因此测量10MHz信号12s以上的闸门时间，就显示满12位了，达到10 000 000.000 0Hz，如果嫌12位显示还不够高，可以通过溢出的方法（减去一个偏移量）等效显示14位，测量10MHz信号时在120s的闸门时间就可以达到1μHz的分辨能力，即分辨1E-13，这在一般的高精度测量中是绰绰有余了。至于外形完全一样的升级型号HP/Agilent 53132A，个别指标更有提高，单次时间测量分辨力从0.5ns提高到了0.15ns，每秒测量位数最高可达到12位，溢出位数也提高了好几位，但价格也提高不少。

Fluke PM6685R是带有内部铷钟的高档频率计，尽管显示位数10位，不如53131A，但单次分辨能力占优势，同时具备内部铷基准，年老化率在5E-10之内，因此具备稳定可靠、使用方便的特点。这个频率计给笔者留下的最深刻的印象就是有一个条形信号强度显示条，可直观迅速地读出信号大小。该频率计广泛应用于我国移动通信营运部门，二手市场上也开始出现。

斯坦福研究系统（SRS）出品的SR620，是具备16位分辨的、可以带铷钟选件的高档频率计，面板上小数点固定，可以直接读出1GHz~1μHz。同时具备单次4ps的最高分辨能力，单次时间测量分辨力可以达到25ps，仅次于老一代“分辨之皇”HP5370B的20ps。不过，SR620有个独特的功能，可以输出1kHz的脉冲，因此可以此为触发，进行每秒1 000次的测试，取平均后，可以在1s之内得到1E-12的分辨力。

常见等精度频率计性能比较见表 2。

◆频率计指标说明

位数：显示位数，面板上可以同时显示的有效数字的位数，不包含指数位。这个位数当然是越高越好。

溢出位：高端被溢出后，或者通过偏移量抵消的方法可以多出的显示位。这样，总位数=显示位数+溢出位。例如HP 53131A的总位数就是12+2=14位。

速度：该指标意味着测量速度，单位是每秒多少位。指标速度是厂家给出的，而有效速度是按照测量频率时每秒可以测量到多少个有效位数来确定的。

秒稳：这就是采样时间1秒间隔的短期稳定度（阿伦方差）。是的，频率计也有短期稳定度之说，即便基准频率和被测频率都非常准确而稳定（比如把一个高精度的频率源同时作为基准与被测信号给频率计），但读数还是变化的。这个秒稳越小就说明内部电路越稳定。这些指标是自己的实际测量值。

10MHz的分辨和闸门：是指测量在时间计量中最常见的10MHz信号时，频率计能达到的最大分辨能力（μHz），以及需要的最短的闸门时间（s）。例如Racal-Dana1991，在最大的10s闸门下可以分辨出1 000μHz即1mHz，相当于1E-10。而53131A就可以把分辨力提高1 000倍,达到1E-13，若需要更高的分辨能力只有采用53132A了，在800s的闸门时间内分辨可以达到1nHz，即1E-16。

分辨与误差：是指测量单次信号时的时间分辨能力（ps，即皮秒）。LSD是最末一位的分辨能力，rms分辨是单次均方根值，误差即均方根误差。

为自己选择一个合适的时间频率标准

◎张利民（BG2VO）

一个良好的时间频率标准是必须的，标准通常有内部和外部之分，两种都很重要。

常见的内部标准

所谓内部标准，就是标准本身是独立的，有别于外部标准。有了内部标准，就可以随时得到精确的时间和频率，而不依赖于外界。常见的内部标准及特性见表1。

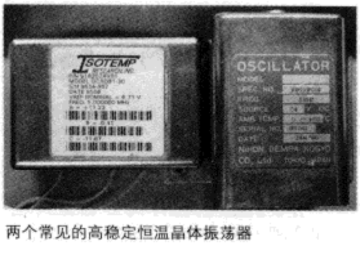
表1 常见频率标准的特性

标准名称	温度补偿晶振	恒温晶振	铷模块	铯钟
符号	TCXO	OCXO	Rb	Cs
温度稳定性	1E-06	1E-09	3E-10	1E-11
日老化率	2E-08	5E-10	5E-11	
月老化率	2E-07	5E-09	2E-10	
年老化率	1E-06	2E-08	5E-10	1E-14
短期稳定性	2E-09	5E-12	1E-11	5E-11
体积（cm^3）	2	50	400	10 000
功率（W）	0.1	2	10	30
价格（元）	50~500	500~5000	8000~30 000	200 000~500 000

表1中的数值为平均数值，实际会因厂家和年代等而有所变化。其中，温度稳定性一般指0~50℃范围，短期稳定性是秒稳，即1s阿伦方差，价格为新品价格，如能找到二手的则价格便宜得多。

温度补偿晶体振荡器，具有来源广泛、价格低廉、耗电少、频率范围宽阔等优点。作为频率标准，常见的有10MHz和12.8MHz的。但温补晶体振荡器的温度稳定性等指标不太好，准确度一般是1E-6，也就是1ppm的水平，只能用于要求不高的场合。一般的频率往往用温补晶体振荡器作为内部基准，如果你自己的标准也采用温补晶体振荡器，当测试别的频率时，如果效果不好，那么到底谁好谁差就不好说了。也就是说，想要测试别人，自己的基准必须要更好。

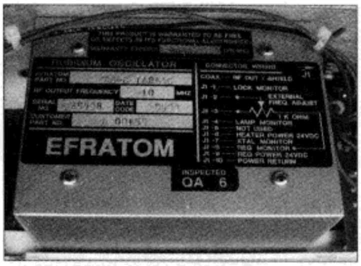
国产老式温补晶体振荡器



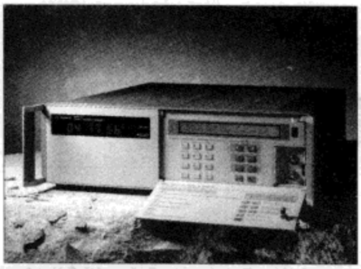
两个常见的高稳定恒温晶体振荡器

恒温晶体振荡器内部设有恒温槽，所有的关键部件运行在恒定温度下，因此很少受到外界温度变化的影响。再加上从晶体的选择、电路的设计等均下了功夫，因此恒温晶体振荡器是广泛使用的一类高稳定频率源。根据制造水平的情况，温度稳定性能够达到1ppb，有些双恒温槽的恒温晶体振荡器的温度系数就更小了。恒温晶体振荡器的老化程度每日也可以做到几个ppb，甚至不到1ppb，因此适合大多数仪器的校准。由于采用了恒温装置，因此这一类标准也会出现体积大、耗电大的问题，不适合移动设备使用。这类恒温晶体振荡器在二手市场上分为国产和进口的两种，前者体积稍大，价格在50元左右1只，频率大多为5MHz。而进口的价格稍贵，5MHz和10MHz的都有性能要好一些。

铷模块。以铷的固有振荡频率为标准的频率源，实际上是一种最广泛使用的二级原子钟，以模块的方式出现，备有比较标准的接口，通电后几分钟就进入稳定状态，并给出10MHz的标准信号，有的还可以进行计算机控制。由于铷原子的固有振荡频率非常稳定，因此铷模块稳定度非常高，达到每年变化不超过0.5ppb、10年变化不超过1ppb，比恒温晶体振荡器高出1~2个数量级，是比较理想的标准器件。铷模块的弱点有供电电源电压比较高（一般是24V）、功耗和发热都比较大、有一定的寿命期限（一般是10~20年）。另外，新品铷模块的价格都比较贵，至少要接近万元的水平。不过现在市场上经常能找到从通信系统退役下来的二手铷模块，价格相对低廉（几百元），这样就成为性价比



SRS SR625铷基准内的铷模块



安捷伦5071A

非常高的理想标准。

铯钟。性能更好、价格也更贵，主要用于国家时间实验室等。现在应用最广泛的是Agilent 5071A（已经卖给了Symmetricom）。铯钟的优势是稳定性和噪声指标非常高，在生命周期内几乎没有老化。缺点是有使用寿命，连续使用几年，或者最多10来年，其关键器件铯管就会因老化而告终。因此，这样的设备目前还不太适合个人使用，因为新的价格太高，而淘汰下来的寿命一般不会太长甚至根本不能使用。

氢钟。性能比铯钟还好，体积更大，当然价格也更贵。除非是类似美国的“tvb”这样的“时间狂人”能够拥有外，别人很难想象去个人购置了。

常见的外部同步源

有了内部标准后还远远不够，因为内部标准要进行校准和同步，这样才能不断地修正和调整自己的内部标准，得到更准确的时间与频率。常见的外部标准有：

1. 标准时间、标准频率发播台

由国家授时中心通过陕西天文台和上海天文台播发，短波信号（BPM）每天24小时连续不间断地播送频率和时间信号，有短波收音机的爱好者就可以在比如5MHz、10MHz、15MHz等频率上收到。理论上讲，由于短波电波传播路径的不确定性，BPM信号只能准确到1ms，因此比较难于用仪器接收使用，一般是通过人耳来对表、计时使用。

2. 电视的副载波信号

国家授时中心在中央电视台放有铯原子钟，把CCTV的副载波严格锁定到4433618.75Hz。只要能接收到中央电视台的信号，就具备了取出里面的副载波信号的机会。正规的做法是通过专用的接收设备，用数字锁相的方法得到5MHz、10MHz等信号。业余情况下也可以自己引出该信号，经放大整形后使用。10s最好可以校准到1E-12级别。

3. 长波发射台

长波利用地波传播，路径单一，因此延时稳定、授时准确。我国建立的长波授时系统（BPL）早已投入使用，载波频率68.5kHz，现在国内比较流行的电波钟都是基于这个系统的，有各种成品（钟、表）和半成品（模块）可供利用，发播信号时刻准确度≤±1μs。但是，由于目前该系统的技术被某公司所买去，协议不公开。

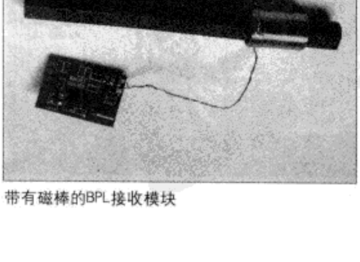
笔者通过淘宝买过一种带有磁棒天线的BPL接收模块，说明书中带有引脚说明，但不提供协议。给该模块加上3V电源后，在输出端用示波器可以看到一系列断续的脉冲信号。根据常规，这些信号包括了同步脉冲、时间编码信号（年月日、时分秒），但编码方式未知，需要有一定的硬件设备和分析能力才能够解读编码，因此也造成使用、推广的不便。

4. GPS信号

GPS系统尽管是被设计成用于定位的，但精确的定位离不开准确的时间，因此每颗GPS卫星上都具有几个非常准确的原子钟，不断发射时间信号。一般的GPS接收模块（尤其是早期的）除了能给出位置信息外，大多带有时间输出功能，可以同时输出1pps（每秒1次脉冲）和10kHz信号。准确度非常高，能达到1μs。很多新的GPS模块省略了10kHz信号，有时使用不方便。但GPS模块都带有RS232接口，可以直接输出时间信号。利用这个GPS模块，可以做成很多DIY时间设备，比如GPS时钟，可以显示数字时间，永远保持准确。再比如可以做成GPS驯服钟，输出高准确、高稳定的10MHz频率信号。

5. GPS标准频率接收机

GPS出现后，很多厂家抓住机会生产了基于GPS接收机的时间频率的标准设备，实际上也是一类商品化的GPS驯服钟。这种专门为提供准确时间和标准频率而生产的设备都带有内部恒温晶体振荡器、标准的计算机接口，尤其是有很高的性能。这些设备曾广泛用于有线和无线通信设备中，目前随着设备的更新而出现在二手市场。比较早的一款是HP公司的Z3801A，尽管时间误差稍大，但稳定性极佳，这归功于其内部采用的HP自己的高性能



带有磁棒的BPL接收模块

双恒温槽晶体振荡器以及内部的智能算法。现在市面上经常可见一种原来HP公司生产但后来卖给Symmetricom公司的产品58540A，尽管体积小型化并采用单恒温槽晶体振荡器，但性能得到了很大的提高。还有一款与之类似的Trimble公司的Thunderbolt，性能更好。这类产品只要外接GPS天线，就可以直接输出稳定的10MHz的标准频率和1pps的标准信号，其10MHz的信号在24小时之内的误差可以达到1E-11甚至更高，1pps的绝对误差也达到亚微秒甚至20ns。当外界GPS信号万一消失，其内部的恒温晶体振荡器将继续保持10MHz和1pps信号的输出，可以做到一天的累计误差不超过几微秒。这种接收机另外还有一个特点，就是具备RS232计算机接口，可以进行双向通信，在计算机里读取各种统计信息，也自然可以实时的读取准确的时间。接口都是公开的，如果现成的应用软件不够好或者不适用，可以自己编写通信应用程序。综上所述，这类设备把内部基准和外部同步做成了一体，功能丰富，非常适合作为个人基准使用。当然不便之处就是依赖GPS信号，需要至少有能够见到大半个天空的接收条件。这样的接收机目前在二手市场上能以不到500元的价格买到。

Thunderblot与58540A

表2 常见GPS标准频率接收机

项目	条件	单位	58540A	Trimble Thunderbolt	Z3801A	PRS10
GPS通道数			8	8	6	
指示灯数量		个	1	0	6	
体积大小			小	小	大	
供电电压		V	24	24	54	24
计算机软件			好用	很好用	有	
10MHz误差	1日均值		1.00E-11	1.16E-12	1.00E-09	5.00E-11
1pps误差		ns	110	20	1 000	10
阿仑方差(短期稳定)	0.01秒间隔					
	0.1秒间隔					
	1秒间隔		5.00E-10	9.00E-10		2.00E-11
	10秒间隔			9.00E-11		1.00E-11
	100秒间隔			3.00E-11		2.00E-12
相位噪声	10Hz	dBc/Hz	-120	-120		-130
	100Hz	dBc/Hz	-130	-135	-120	-140
	1kHz	dBc/Hz	-140	-135	-135	
	10kHz	dBc/Hz	-145	-145	-135	
	100kHz	dBc/Hz	-145	-145		
谐波		dBc	-30	-40		-25
虚假噪声		dBc	-80	-70		
晶体老化	每日		7.00E-10	1.50E-10	8.00E-11	
	每月					5.00E-11
	每年		1.00E-07			5.00E-10
温度特性	0~55℃		2.00E-08			1.00E-10
二手价格		元	400	400	400	

备注：PRS10实际上是一个铷模块基准，在此仅作为参考。

Lucent的GPS驯服钟

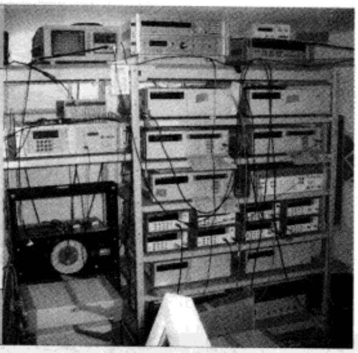
最近，由于通信设备的淘汰，在二手市场上出现了大量的Lucent的GPS驯服钟，型号是RFTG-m-XO，当然，尽管这样的设备价格相对来说不算太贵，但没有任何资料，也使得DIY者望而却步。

这类设备从使用上可以分成简单使用和高级使用两类。前者就是直接利用其10MHz的输出作为标准源，用于校准或者作为频率计的外基准。也包括利用其1pps（每秒1次脉冲）信号，作同步或者秒表使用。后者一般要涉及单片机制作编程，通过RS232接口把时间信号读出后，再对自己DIY的设备进行显示或控制。

常见的GPS时间频率接收机见表2。由表可知，在业余条件下58540A或者Thunderbolt还是很好的选择。

频率测量的方法

◎张利民（BG2VO）



一个好的频率源表现在温度稳定性好、短期和长期稳定性好等方面。如何测量和评价这些指标呢？

频率的测量方法和注意事项

如何才能准确地用频率计测出被测频率？这需要考虑如下几点：

◆ 频率计应开机预热，一般要半小时以上。

◆ 应采用比被测量频率高一个级别的基准源。也就是说，频率计的内置基准应该准确稳定，或者采用外部基准，最好是比被测量频率高一个数量级。

◆ 尽可能选择长的闸门时间。

◆ 输入选项要合适。比如输入阻抗应匹配，有时要调节灵敏度、耦合方式和滤波方式。

◆ 测试过程中不要碰触电缆，甚至在旁边活动都有可能引起静电放电或电场的变化而干扰测量结果。

◆ 测量次数至少3次，取平均值。如果离散比较大，甚至可以测量5次，去掉其中最高和最低的，剩余的再取平均值。

温度稳定性的测量

正规的温度系数测试，都需要有恒温箱。把频率源放进去待温度稳定后，直接用频率计测量频率，然后换一个温度，再进行测量，这样就可以求出频率源的温度系数。比如，在20℃测量某温度补偿晶体振荡器的频率为10 000 000.1Hz，而在50℃测量某温度补偿晶体振荡器的频率为10 000 004.0Hz，那么在温度升高30℃的时候频率升高了3.9Hz，也就是0.39ppm。如果有条件，可以多测量一些不同温度下的频率，甚至做出频率温度曲线。业余条件下由于没有恒温设备，可以采取人工加温的方法：把温度计放在晶体旁边，用家用电吹风的低挡距离0.5m左右吹，一边吹一边观察温度计的读数，不要一下子加温过快，同时观察频率计的读数。当然，如果房间里早晚温差比较大，那么也完全可以利用这个自然的温度变化来求得温度系数。

长期稳定性的测量

所谓长期稳定性，一般是指至少以天为单位，连续测量好多天的结果。方法是每天至少测量一次，争取在相同的时间、相同的温度以及相同的其他条件下，测量频率源的频率并做好记录，然后做出曲线（可以在Excel里面很方便地做出），求得近似线的斜率，就是稳定性。单位一般是每天多少个ppm或者ppb。要测量月稳甚至是年稳，就需要更长的时间了。另外要注意的是，在整个的测量过程中，频率源应长期加电，以免受到开关机器的影响而改变了频率。

短期稳定性的测量

短期稳定度是指在几十毫秒到几百秒的采样间隔范围内，频率的变化程度。当我们用一个高分辨力的频率计比如HP53132A来测量，1s就可以读出12位，此时测量一个稳定的恒温晶体振荡器，最多就是最末位在很少地跳，相当于秒稳1E-11。但当测量温补晶体振荡器的时候，最后3位都在跳动，大约相当于秒稳1E-9。而测量传统的LC信号的时候，至少最后6位都在跳动，这样的短期稳定度就很差了，仅相当于1E-6。因此，使用高位数的频率计，度数跳动是很正常的，说明要么基准的短期稳定性不好，要么被测频率的短期稳定性不好，而不是频率计本身的原因。

那在业余条件下我们怎么知道这些变动的原因是因为基准不好，还是被测量信号不好呢？这只能通过3个以上频率源两两比较替代来判断。一般来讲，换用不同的信号源、不同的外部基准、不同的频率计，找出测量起伏最小的一组，就说明大家都好。而为了能够具备这样的换用条件，任何基准都需要是两套。这好比你有多把直尺，只能通过两两合在一起对比，找出一对尽量严丝合缝的，就认为是最直的一对了。

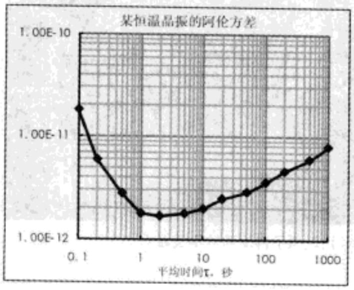
那么怎么进行两个频率之间的比较呢？最正规的方法是利用专用的分析仪，比如TSC5110A，同时接上频率源和另外的一个参考源就可以自动得到分析结果，并以阿伦方差图的方式显示出来，时间常数（τ）从0.01s以1、2、5的步长上升，甚至可以延伸到中期稳定性（比如数天或者更长），纵向就表示在不同的时间间隔下的稳定程度。但这种仪器非常昂贵，我们国家也没有几台，个人就更不用说了。不过，我们可以完全采取单点测量的方法来得到某些常用时间间隔的

稳定度。假设每秒测量1次，连续测量100次，那么这100个读数不会是一样的。特殊地讲，连续两次的测量的频率差不会是0。把这些频率差平方再累计起来，对次数进行平均，得到的就是以时间间隔 τ =1s的阿伦方差，也被称为秒稳。秒稳的测量其实可以自动进行。根据笔者多次采用SR620 的对比测量，在某些条件下阿伦方差和标准离差几乎是一样的（SR620可以自动测量阿伦方差和标准离差）。因此，有些频率计不支持阿伦方差，但支持标准离差，比如HP53131A，因此可以采用标准离差来替代阿伦方差进行自动测量。最后要注意的是，测量短期稳定度应该是频率计、标准和被测频率源都在充分预热的基础上进行的。假设频率的读数总是向一个方向偏，就说明预热不够充分。

其他稳定性的测量

◆ 电源电压稳定度的测量。需要一个可调节的稳压电源，在额定电压下变动±10%，等待频率稳定后测量并记录。一般来讲，在电压变化不很大的情况下，频率变动特性应该不超过其温度稳定性和中期稳定性，否则就需要考虑采用稳压措施了。

◆ 安装方位稳定度的测量。有的频率源对安装方向敏感。例如很多恒温晶体振荡器，倒过来安装或者侧过来安装，频率就有1ppb的变化。在这种情况下，我们就不应该随意改变安装方位了。



以阿伦方差表示短期稳定度

常用的频率和时间对比方法

正像精密测量物体的质量要用到质量对比的天平一样，在时间测量中最常见的操作方法就是对比。

对比一般都使用高精度的频率计。对比时，首先要设置好频率计的输入特性，比如输入阻抗要匹配（一般选择50Ω输入）、交流直流耦合一般选交流、触发电平（输入灵敏度）可以选择在自动挡、滤波对于10MHz可以不选择。

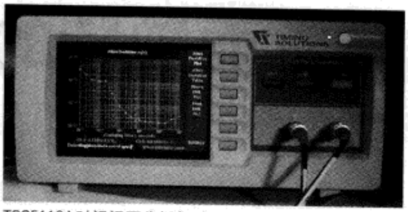
常用的频率对比有5种方法：

方法一，利用频率计的A/B对比功能。这个是最简单最直接的方法，把两个需要对比的频率分别输入到A和B通道，设置成对比功能（Ratio）即可。不幸的是，大多频率计的这个功能显示位数有限，因此这个功能很局限，只用于粗略频率对比。

方法二，两次分别测量。即分别的、先后用一个通道读取两个频率。这样的做法要求对比条件相同，但测量过程中需要手工操作，因此可能会改变测量条件，更主要的是不能实时对比，因此用途有限。

方法三，把两个要对比的信号分别接入频率计的A/B通道，手工转换分别读取。优势是测量比较方便，但有可能A/B通道的不同引入测量误差，因此要交换测量。另外，这种方法要求有比较好的参考标准。

方法四，把要对比的两个频率中的一个作为参考标准，另一个作为输入信号。这是精度最高的也是最常用的方法。可以随时看出两个频率的动态变化，改变测量参数的时候不用动电缆、插头。其局限性有两点，一个是只能对比频率计能接受的频率。比如HP/Agilent 53131A只接受1MHz、5MHz、10MHz 作为标准信号（这已经是不错的了，大多数频率计只接受10MHz标准），其他的频率就不能对比。好在作为频率标准的最主要的就是这几个信号频率。另一个局限是可能有很小的固定偏差，不过若只比较相对变化，这个偏差就可以不计。



TSC5110A时间间隔分析仪

TSC5115A

方法五，利用示波器，观察两个信号的波形。尽管这一做法很难数字化与自动化，但可以在示波器的显示屏上看到两个不同波形之间是如何变化的，非常直观而方便，配合秒表就可以分析计算出两个频率之间的偏差。

方法六，利用专门仪器。比如Timing Solution公司的TSC51xx系列时间间隔分析仪，具有方便友好的图形化用户界面，通过一个按钮就可以实时看到阿伦方差、相位差、单边带(SSB)相位噪声、频率计数器或两路输入信号的频率差等测量结果。分辨率达到0.1ps。当然，这个仪器价格不菲。

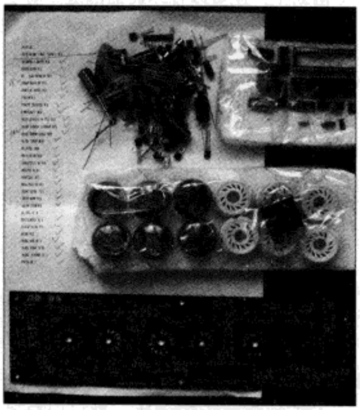
无论哪种比较方法，都可以自动化，通过仪器的RS232接口或者GPIB接口，把数据传送到计算机里，实现自动记录。这样就可以避免人为干扰、消除读数记录误差，也便于分析、整理和做图，也更方便日后保存。

丰富而独特的时间显示方法

◎张利民（BG2VO）

所谓时间显示，实际上可以认为是一个简单的授时器。即使内部的时间再准确，但没有一个显示方法来告诉外界，也是没有用的。时间和频率不能只在内部保持而不显示，况且有一个非常准确的时钟也是本专题的主要目的之一。

1. 模拟显示。这是传统、直观的一种显示方法。一般是利用电路损坏但同步电机和机械部分完好的电子钟，送给它需要的每秒1次的脉冲驱动，就可以把精确的时间显示出来。由于大多数的同步电机是双极性的，因此我们一般把1pps信号再分频一次，得到2Hz的方波信号，再用一个不大的电解电容串联后，提供给数字钟，就可以正常驱动了。电解电容要根据数字钟的大小和类型作一定的调整，一般是10～50μF。这种方法具有取材容易，制作简单，成本低廉的优势，同时不失准确性。只是调整需要一些技巧，以准确地把模拟钟对准到1s不差。


套件图

笔者自制的6位数字Nixie辉光放电管时钟显示

2. LED数字显示。可以自己做一块分频、译码、驱动电路板，装一个用1pps驱动的、带有时分秒显示的6位时钟。这种显示方法具有显示醒目、无度数误差等特点，甚至可以把星期、月日等一起做上去。另外一种做法，就是购买一个带有秒显示的LED日历钟进行改制。

3. 数字Nixie辉光放电管显示。与LED显示类似，只不过辉光放电管效果独特，有仿古的味道。笔者从网上购买了一套数字Nixie辉光放电管套件，组装起来后显示效果不错。

4. 商品一体化解决方案。比如一些高档的GPS授时机以及一些高档的原子钟都具备时间显示功能。

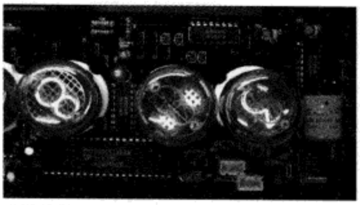
5. 显示系统。时间显示可以不局限在一个地点，可以做成子母种的形式，子钟可以多个并与母钟同步，之间可以用有线甚至用无线协议连接。

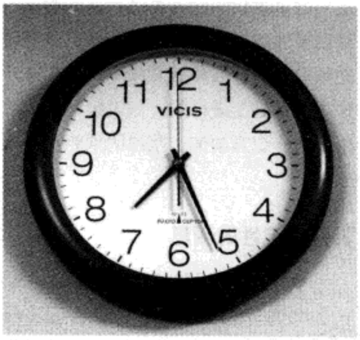
6. 其他。比如，甚至可以用老式示波器的圆形示波管做显示。

维持个人时间标准的环境因素

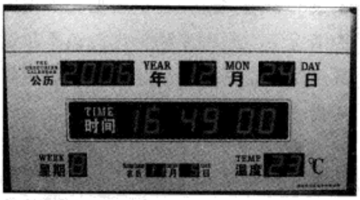
为了能够让个人的设备一直处于良好运行状态，一定的外部条件必不可少。

◆ 电源。电源供给是时间系统必须的，要求稳定、可靠、不间断。有条件的应该加装滤波系统，以免受到干扰，同时也不把时间系统自己的干扰传播到外界。另外，如果电压不能保证稳定，也应该考虑加装稳压器。


电路局部



笔者自己的模拟电波钟



常见的数字日期时间显示

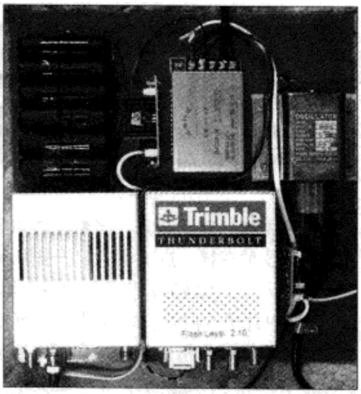
tvb用氢原子钟驱动的示波器表

◆ UPS。UPS就是不间断电源。当外界电源短期停电后，UPS系统将维持供电。一般来讲，UPS应付能停电的时间有限，假设你所在的地区经常长时间停电，那就要另想办法，比如把时钟部分加上二级的长时间电池后备系统。

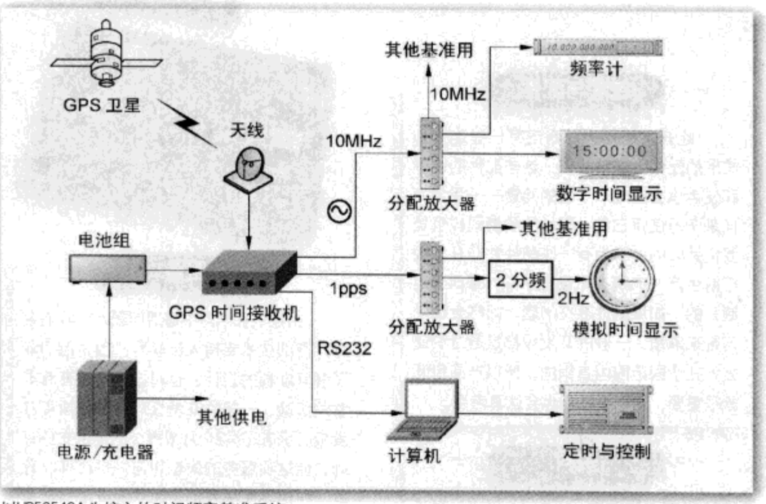
◆ 环境。高稳定度的时间也对环境提出了新的要求，尽管很多标准对环境的变化有很大的抵抗能力，但良好的工作温度、恰当的湿度和散热条件将保证整个系统处于更稳定的运行状态。此外，不应有过大的灰尘和强烈的光照。

个人时间和频率标准完整方案

下图所示的个人时间和频率基准系统的核心是HP58540AGPS时间接收机，现已经属于Symmetricom公司，当然，该接收机也完全可以用Trimble Thunderbolt替代，它输出3路信号：1路是标准的10MHz信号，经过分配放大器后可以用于各种需要标准10MHz信号的场合，比如综合测试仪、信号发生器、频率计等，也可以作为精密数字时钟的基准源；第2路是1pps信号，即每秒一次脉冲信号，可用来做秒计时或者作为模拟时钟的驱动，误差可以保持在几十纳秒之内；第3路是计算机端口，可以配备专用软件，接收来自GPS的各种时间相关的信号，比如日期、时间、闰年信息、星历等，这些信息自然可以用于定时、控制与时间发布等功能。



以Trimble Thumderbolt接收机为核心的时间频率基准系统



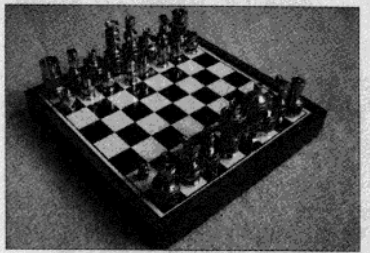
以HP58540A为核心的时间频率基准系统

由于GPS时间接收机内部带有恒温晶体振荡器，因此万一GPS信号短暂消失，也将在一段比较长的时间内维持相当高的准确度。如果嫌内部基准还不够用，可以考虑采用铷钟替代里面的恒温晶体振荡器。另一方面，由于采用了后备电池组，一旦出现供电电源故障时仍然可以维持系统正常运转。该系统的很多部件可以裁减或扩充，因此也具有很高的灵活性。

几个常用的有关频率和时间的网站：

国家授时中心：www.time.ac.cn

美国时间狂人tvb个人时间主页：www.leapsecond.com


tvb用各种接口做的国际象棋

其他：中国计量科学研究院：www.nim.ac.cn
时间狂讨论列表(英文)：www.febo.com/pipermail/time-nuts

选你所需——51单片机开发实验板横评

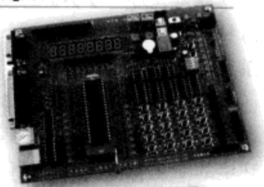
◎无线电实验室

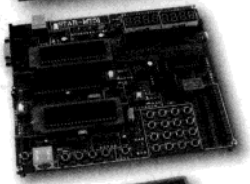
开发板、实验板是大多数单片机爱好者入门时的必备之物，目前市场上的单片机开发实验板产品多种多样、层出不穷。一些从来没有接触过单片机的朋友在开发板的选择上往往不知所措。为此，《无线电》专门在市场上选择了几款主流的开发板产品进行第三方测试和评定，希望可以给单片机入门的爱好者朋友一个独立的参考意见，帮助爱好者朋友少走一些弯路。

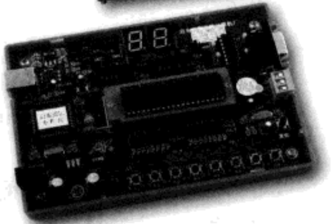
本次测评是从初学者的角度，以易懂、易学、易用为标准来进行测评的。测评的内容与笔者的知识水平、理解能力有一定关系，所以不能完全代表产品的所有性能和使用体验，点评内容仅供读者参考。

本次测评得到了北京金一倍科技发展有限公司（www.jinyibei.com.cn）的友情支持，提供了星研STAR-MT51、爱因AY-USB-51F等参评产品，在此表示感谢！

我们在评测时主要关注以下几部分内容：







外观

好的开发板都是在外观设计上下了一定功夫的，元器件的布局、用户操作的人性化、结构是否合理、说明标签是否清晰、板子的焊接工艺、板子表面是否整洁，这些都是我们要考查的内容，因为产品的外观可以直接反映厂商的细致程度，外观不好，我们也不敢相信其他方面他们会出色。另外，不良的外观或是标注文字不清晰也会导致使用上的不便。

功能

一款好的开发板应该尽量包含单片机外围扩展的各种功能，这也是开发板含金之处。所以一款开发板可以实现多少种外围功能也是我们需要关注的问题。当然，这些功能是要和售价有一个比对的，尽量达到物超所值。

包装与配件

除开发板外，厂商还有一些连接和扩展的配件附送给我们，这些配件的连接和使用也会变成一个新的问题——我们如何来学习使用它们？配件的质量同样也是我们关心的，因为有一些配件并非开发板厂商生产，而是在市场上采购（或B2B定制）的，如果配件存在问题，同样会给学习带来麻烦。一般的开发板都是通过快递公司在全国范围内直销的，所以产品包装就很重要，这一点我们也会认真考查。

资料

众所周知购买一款开发板并不只是买到一个焊好元器件的PCB而已，它还包括学习和使用所需要的说明书、教程之类的学习资料。这样资料如果丰富、详实，则可以大大提高学习效率，让购买开发板学习单片机变得事半功倍。开发板配套的学习资料也是我们重点评测的内容，主要包括随开发板附送的说明书、图书和光盘。

软件

单片机技术的学习不同于其他纯硬件电子电路，单片机主要的学习内容还是在软件上。所以厂商应该提供良好的软件开发平台和多样的演示程序，同时各接口的驱动程序、常用的工具软件也要丰富一点较好。

服务

当我们在学习中遭遇问题时，我们会跟厂商的技术支持人员联系，因为他们最了解开发板的设计，也对技术问题有着丰富的经验。一般的开发板厂商都在购买开发板时承诺提供3个月或更久的技术支持时间。但这项服务的质量如何、是否可以有效、快速地解决我们的问题变成了一个大问号。同时还要看厂商提供的技术支持方式是否多样，例如QQ、论坛、电话、电子邮件等。本次评测我们也将考查一下。

综合学习效果

以上考查的各种项目归根到底还是要达到快速学习的目的，哪一款开发板可以更易学、易用、易操作，同时又具有较高的性价比，才是开发板产品中的王道。所以我们来评测每款开发板的学习过程，这是很关键的一步，对于初学者而言，刚学习单片机是很困难的，首先心理上就会有惧怕。我们主要来看一下每款开发板的学习过程是否容易，说明是否通俗易懂，对于初学者常见的问题有没有介绍。

晶控电子51综合实验板

◎无线电实验室

硬件

品名	51单片机综合学习系统	厂商	杭州晶控电子有限公司
参考价	563元	购买方式	网店、各地代理商、公司直销
公司网站	www.hificat.com	技术支持方式	电话、电邮、QQ、论坛
支持单片机系列	AT89S系列、STC全系列、SST89系列、WINBOND系列、AVR系列	技术支持期限	长期
主板主要功能	LED、蜂鸣器、数码管、PS/2接口、串口、4×4键盘、继电器、红外接收芯片、ADC、时钟芯片、EEPROM、光耦、液晶接口、步进电机驱动	配件	AT89S51、SST89E516RD、无线模块、无线遥控、DS18B20温度传感芯片、CR2025电池、步进电机、红外遥控器、40PIN排线、20PIN排线、USB线、并口线、串口线、1602液晶屏、光盘等
光盘内容	视频教程、说明文档、演示程序、电路原理图、软件包等	其他	《单片机快速入门》图书

杭州晶控电子有限公司（以下简称晶控电子）是业界比较知名的单片机学习套件生产厂商之一。本次我们选择其针对单片机爱好者高效入门的产品——51单片机综合学习系统。打开快递公司的包装袋，里面有一本书和一个开发板的盒子。盒子上印有公司设计的图案，感觉很正规。打开盒子，里面有保修卡、2张CD-ROM和1张DVD-ROM光盘。下层有数据线和遥控器，最下层有开发板和其他配件。开发板主体用防静电网格袋包装，LCD模块采用防静电气泡袋包装，其他元器件则采用普通的透明塑料袋包装。每层之间用发泡塑料分隔，抗冲击能力良好。可以看出在包装设计上还是很专业的。除了标准配置的开发板、串口连接线、并口线之外还配备了USB线，可以用电脑的USB接口为系统供电。在硬件上对单片机程序的下载是采用并口（AT89S51系列）和串口（STC89C51系列）实现的，USB接口只作为系统的充电电源，不能用于程序下载，这方面有一些遗憾。如果你的电脑上只有USB接口的话，你就还要考虑另外购买USB转并口或USB转RS232串口的转接线，晶控电子也提供这两种转接线。笔者认为USB转并口的下载线使用次数不多，因为现在电脑上设置有并口的已经不多见了，而且也只有AT89S51的单片机才要用到并口的硬件和软件支持。而串口也可以实现STC系列单片机的下载，同时还可以用在其他支持串口下载的单片机上面。所以建议大家采用STC89C51系列的单片机，再用USB转串口线实现下载。

红色的PCB看上去很醒目，板面整洁、干净，均采用直插式元器件，元器件完好，没有杂尘和污垢。PCB的布局设计得比较合理，USB接口、PS/2接口、并口和串口都设计在同一侧，8位LED数码管和LCD扩展接口在PCB的左上方，接入LCD扩展模块时，LCD模

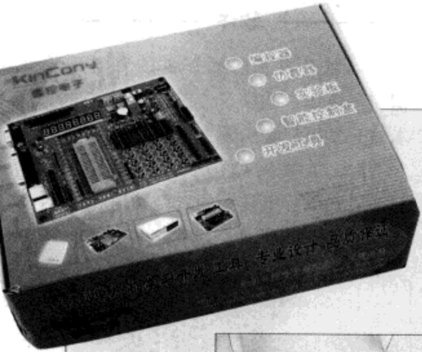


图1 包装盒

图2 附送图书

图3 光盘和保修卡

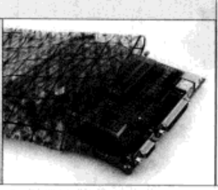


图4 防静电网格袋包装

图5 盒内物品

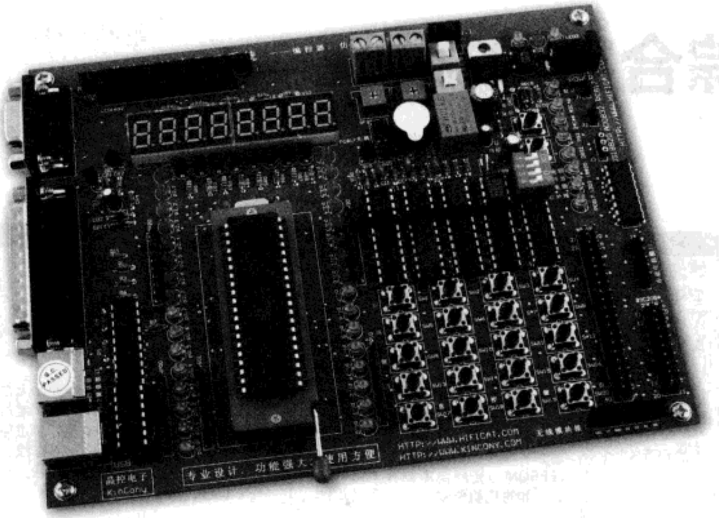


图6 实验板正面

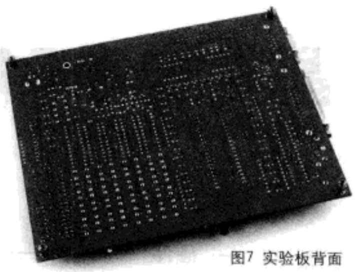


图7 实验板背面

块的PCB所接触的部分都是绝缘材质，设计比较合理。开发板的电源可以选择USB或电源适配器两种方式来供电，电源部分除采用板载的集成稳压芯片外，还加入了整流电路，以防止电源正负极反接造成电路损坏。板上设有电源选择开关和“标板供电”开关，可以用来选择电源适配器或USB供电。在USB供电时还可以用“标板供电”开关断开大功率的功能电路，使USB接口供电端不会超过极限电流。单片机卡座周围排列了32个LED指示灯，用来显示单片机所有I/O口状态。PCB右下角分别按40PIN和20PIN的2.54mm排针引出I/O口，以方便外部扩展。PCB标注文字采用中文和英文混合标注方式，看起来比较方便、直观。不过在连接步进电机的时候发现了一个问题，步进电机上的接口是6PIN白色定向插头，而PCB板上的却是8PIN普通的2.54mm排针，在PCB上也没有接插方向的标识，仔细搜索了一下配套图书和视频教程，也都没有这方面的说明。于是笔者将其作为技术支持的问题之一去咨询厂商，下文中会有详细介绍。

这款开发实验板是51单片机学习的基本版，可以完成的实验功能有8位动态数码管，可以完成动态显示方式的学习。串行及I^2C总线的EEPROM芯片，可以学习EEPROM原理和I^2C总线的原理及应用。4×4动态扫描键盘和独立式按键，可以学习键盘处理方式。128×64及16×2LCD显示屏模块，可以学习使用LCD驱动和应用。红外线遥控功能，可以学习普通红外线遥控器的接收、处理方面的技术。全部I/O口的LED指示，可以显示出所有I/O接口的电平状态，也可以完成LED流水灯等实验。PS/2接口可以连接标准的PC机104键盘。另外还有步进电机、蜂鸣器、继电器控制、无线遥控、模数转换、实时时钟、温度传感器、串口通信等。配件中有SST89E516RD单片机，可以在KEIL开发环境中实现硬件仿真。因为这款开发板的扩展功能比较多，会出现一口多用的情况，因此板上加入了实验功能选择电路，通过一个按键就可以在8种功能电路之间切换，来选择对应的实验项目，这种方式比普通的使用跳线的方式切换要方便、可靠得多。配套光盘中有每一种功能的效果演示视频，可以作为实验结果的参考。笔者按照说明文档中的操作步骤将各种功能实验了一遍，操作流畅、各功能正常。

软件

这款开发实验板提供的资料可谓“多媒体”教学了，首先是提供一本与开发板配套的图书《单片机快速入门》，书中以这款51综合开发板为例来展开单片机技术的入门学习和提高，笔者大概翻阅了一下，书中从单

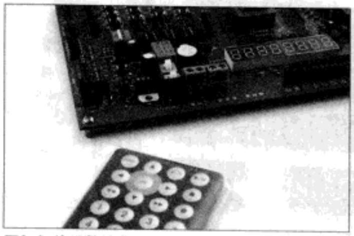


图8 红外遥控功能

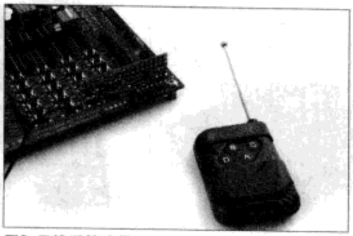


图9 无线遥控功能

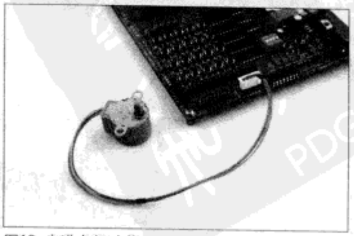


图10 步进电机功能

片机基础到开发板上的实验学习，比较适合初学者边学习边实践。配书光盘里提供了视频教程和实验的视频演示。光盘里面除了有常见的单片机入门教程和常用软件包之外，还有各种版本的视频教程和开发板的功能演示。

这款开发实验板还配套了2张CD-ROM和1张DVD-ROM，内容包括视频教程、说明文档、演示工程、电路原理图、软件包等，初学单片机的基本资料一应俱全。由于内容多，资料的存放有一些杂乱，目录层次不太清晰，要每个目录和文件都浏览一遍之后才能了解光盘的内容。

光盘除了提供KEIL C51开发环境软件之外，还有60多个为开发实验板各项功能设计的演示工程。其中包括C语言和汇编语言，还有同一功能的不同实现方法。对于初学单片机编程的朋友来说，参考这些演示工程中的源程序对学习大有帮助。笔者查看了几个工程的源代码，有一些是摘自网络的程序，所以样式和风格不一，但并不会影响学习。在测试这些工程的时候发现没有无线模块的测试工程，为此我们也将其作为技术支持的问题之一。

就上面的几个问题，笔者打电话给晶控电子寻求技术支持。既是为了解决遇到的问题，同时也可以看看他们技术支持服务的质量。电话打了过去，我说我要找技术支持人员，他叫我直接和他讲就可以了，我就问他在光盘里为什么没有无线模块的演示程序呢？他的回答是说，这个模块的程序在配套图书的光盘里，并说这个是后来改板的时候增加上去的，所以开发板的配套光盘里没有，而在配书光盘里是有更新的，并且在书上也有这一部分的说明。

我的另一个问题是步进电机部分的接口要怎么插。开发板配件中的步进电机是采用的6PIN白色定向插头，而开发板上对应的是8PIN的普通排针，

001-主机自检程序
002-如何点亮2个LED发光管
003-闪动的LED发光管
004-LED流水灯(汇编)
005-LED流水灯(C语言)
006-LED流水灯(移位方式)
007-正反流水灯lsdzf
008-最简单的键盘控制
009-直控按键演示(汇编)
010-直控按键演示(C语言)
011-数码管查表程序
012-2位数码管计数器(汇编)
013-4位数码管计数器经典例程
014-数码管扫描显示(汇编)
015-数码管扫描显示(C语言)
016-104键PS2接口标准键盘经典样例程序
017-数码管显示秒表(C语言)
018-DS18B20-液晶1602显示温度和控制
019-数码管显示电子钟(汇编)
020-数码管显示电子钟(C语言)
021-蜂鸣器911报警(汇编)
022-蜂鸣器911报警(C语言)
023-蜂鸣器奏乐(汇编)
024-蜂鸣器奏乐(生日快乐)
025-DS18B20-数码管显示温度和控制
026-喻鸣器奏乐(祝你平安)
027-串口COM通讯(C语言)
028-AT8955x看门狗(C语言)
029-AT8955x看门狗(汇编)
030-串口COM通讯(汇编)
031-独立按键实验(平凡经典例程)
032-去抖动独立按键实验(平凡经典例程)
033-独立按键控制流水灯花样(平凡经典例程)
034-利用定时器实现灯的闪烁(平凡经典例程)
035-利用软件定时器实现灯的闪烁(平凡经典例程)
036-外部中断实验(平凡经典例程)
037-利用中断方式实现灯的闪烁(平凡经典例程)
038-利用定时器通过延长定时方法实现灯的闪烁(平凡经典例程)
039-利用定时器演奏音乐(平凡经典例程)
040-两个定时计数器合用的延时实验(平凡经典例程)
041-光电耦合器开关控制实验
042-继电器开关控制实验
043-液晶背光开关控制实验
044-24C02读写练习(汇编)
045-24C02读写练习(C语言)
046-93C46读写练习(汇编)
047-93C46读写练习(C语言)
048-24CXXX存储数码管
049-93C46存储数码管
050-1602LCD液晶秒表
051-1602液晶C语言经典例程
052-1602液晶汇编语言经典例程
053-12864液晶(无字库)
054-步进电机正反转及调速控制
055-矩阵键盘数码管显示键值
056-矩阵键盘按钮-液晶1602流动显示预定字符
057-矩阵键盘控制数码管移位显示
058-矩阵键盘声音提示数码管输出
059-DS1302-制作的电子时钟
060-AD0832数字电压表LED灯实验
061-AD0832数字电压表数码管实验
062-AD0832数字电压表1602液晶
063-红外遥控器键值解码LED发光管显示
064-红外遥控键值解码8888数码管显示
065-红外遥控键值解码1602液晶显示
065-红外遥控键值解码12864液晶显示
51单片机综合学习系统实验说明(必看).txt

图11 演示程序

如果不仔细看视频和电路原理图，还真的不容易找到正确的插接方法。他的回答也很细致，让我找到步进电机插头的红线一端，这一端是步进电机的共极端。这个步进电机的插接对于初学者来说还是有一些难度，建议厂家可以改进一下接口设计，让连接更“傻瓜”一些。

首先我们来看一下，初者学最为关心的，如何快速地将第一个程序下载到单片机中运行。这款开发晶控51综合实验板配备的是AT89S52单片机，是可以采用并口ISP下载程序，下载程序的说明在配套的《单片机快速入门》一书中有介绍。只要电脑上有并口，连接好并口线，运行Easy 51Pro软件，在软件中打开光盘中例程文件夹下的HEX文件，再点击写入程序即可。笔者对每一个例程都做了下载实验，操作简单，很容易完成。在光盘中的视频演示中可以看到各个实验的官方实验结果，有了这个标准也就让初学者知道了自己的实验结果是否正确了。下面就是编程环境的建立和使用了，因为这款开发板配套了图书，所以整个过程就变得容易许多。

总结

优点：质量好、工艺精良、资料丰富、设计优良。

缺点：不支持USB下载程序、价格偏高。

综上所述晶控电子的51综合学习系统的生产工艺优秀，经过了多次改进，使用起来更具人性化，电路设计独具特色。学习用的软件资料也很丰富，各种功能都有一种或几种原工程包，配套的软件也提供得很完备。附带的视频教程、图书和各种学习资料同样丰富，但是有一点零散，没有主体。教学的方式也是比较传统，希望可以在学习资料上再努力一下。晶控施行全国统一公开标准价，人民币563元/套，同时赠送《单片机快速入门》一本。可以通过银行汇款、淘宝网来完成交易，以公司直销方式为主。相对于同等类型的51开发板来讲，晶控电子51综合学习系统的价格有一些偏高，但是相比之下质量和服务也是优秀的，所以可以说是物有所值了。

星研STAR-MT51

◎无线电实验室

硬件

品名	START-MT51开发板	厂商	上海星研电子科技有限公司
参考价	500元	购买方式	网店、各地代理商
公司网站	www.xingyan.com.cn	技术支持方式	电话、电邮、QQ
支持单片机系列	AT89S系列、STC全系列、SST89系列、AVR系列	技术支持期限	长期
主板主要功能	LED、蜂鸣器、数码管、PS/2接口、串口、4×4键盘、继电器、红外接收芯片、时钟芯片、EEPROM	配件	AT89S51、SST89E516RD、DS18B20温度传感芯片、USB线、串口线、光盘
光盘内容	说明文档、演示程序、电路原理图、软件包等	代理商	北京金一倍科技发展有限公司（www.jinyibei.com.cn）

STAR-MT51开发板（以下简称MT51）的包装比较简单，采用的是标准的无印字纸盒。开发板主体采用自封口袋包装，相对于防静电袋来说保护性差一些。配件也是基本的USB线、串口线和CD-ROM资料光盘。它更强大的功能都集成在开发板上了，这一点我们要详细地介绍一下，笔者认为功能性强是这款开发板的亮点。

MT51上的元器件很多，也比较重，放在桌子上有一种很稳重的感觉。但是笔者在接线时突然发现一个问题——板子下面的4个脚座不能同时落在桌子上，也就是说板子有一些扭曲。可能是由于板子上的元器件焊接所导致的PCB形变，好在扭曲并不严重，在可以接受的范围。

MT51的布局设计确实可圈可点，中英文的标注字非常清晰，几乎不用看说明书就可以操作。板载有2个单片机座，可以分别用于实验和仿真。板上有多个开关和指示灯，很全面地操作和显示开发板的状态。实验功能支持51和AVR两种系列的单片机。仿真功能直接支持KEIL C51 IDE开发仿真环境，63K用户可使用仿真程序空间。板上可以实现的功能更是强悍，有8位动态数码管、串行及I²C总线的EEPROM芯片、4×4动态扫描键盘和4位独立式按键、128×64和16×2LCD显示屏模块接口、红外线遥控功能、全部32个I/O口的LED指示、PS/2接口。另外还有步进电机、蜂鸣器、继电器控制、无线遥控、模数转换、实时时钟、温度传感器、串口通信等。值得一提的是，开发板上的主要芯片、数码管、

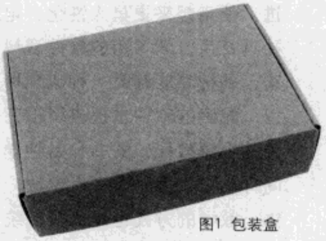


图1 包装盒

图2 盒内物品

图3 实验板及配件

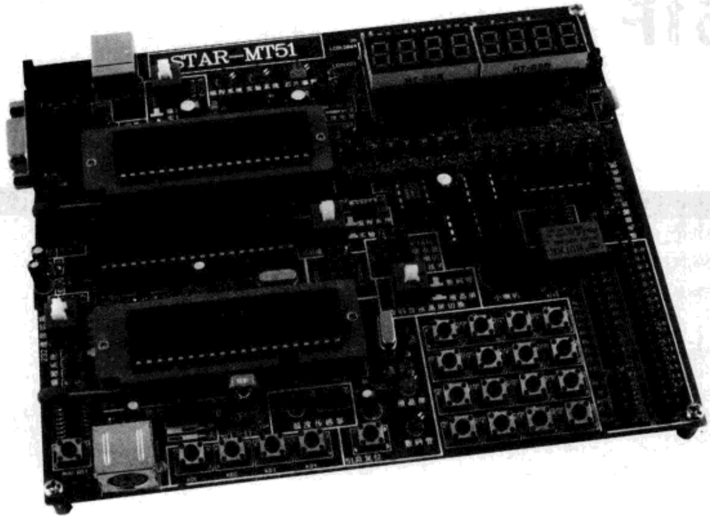


图4 开发板正面

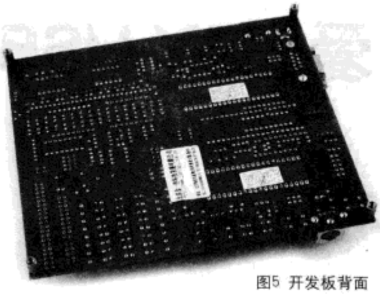


图5 开发板背面

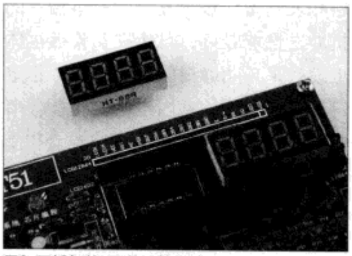


图6 可拆卸的LED数码管设计

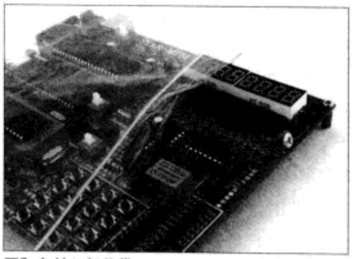


图7 自封口包装袋

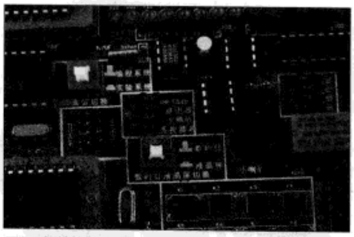


图8 清晰的标注信息

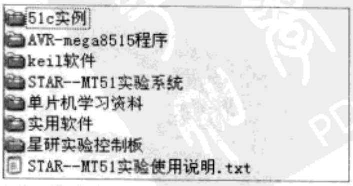


图9 光盘内容

晶体管都是可以直接拆卸的，方便更换或测试。MT51也将单片机的所有引脚以20PIN和40PIN的排针引出。MT51开发板集合了实验开发和单片机程序烧写两种功能，可以烧写51和AVR系列的单片机。系统可采用USB或电源适配器供电，可由开关选择系统状态和功能设备使能，使用很方便。

软件

MT51提供一张CD-ROM光盘，但依然存在光盘资料的通病——文件层次和命名较乱，需要通看一遍光盘才可以了解所需内容的位置。光盘中的内容包括学习教程、电路原理图、开发平台软件、USB驱动程序等基本资料。学习资料撰写得一般，对于初学的朋友会有一些难度，如果使用者有一定单片机基础就很容易了。MT51的使用比较方便，不过使用前要先了解板上的各种接口和开关，笔者在使用时就被它们迷惑了，研究了好一会才熟悉。这并不是厂商的问题，而是功能多了之后，设置上必然会复杂一些。除此之外程序的烧写、调试都很顺利。在使用中感觉到软件方面的资源没有硬件制作得好，这可能也是大部分开发实验板都有的问题吧。希望厂商加强软件方面的投入。

总结

优点：功能强大，集成了常用的外扩功能，各功能的选择、切换方便。

缺点：学习资料方面一般，初学起来会有一些困难。

相比之下，STAR-MT51开发板的功能是我很欣赏的，双芯片座设计、多种切换选择开关、支持多种单片机和仿真模式，让开发实验变得灵活、快捷。但在学习资料方面并不出众，仅为一般的说明文档。除技术过硬之外，也希望厂商在生产工艺和包装上有所加强。这款开发板以各地代理商网点销售为主，500元的价格配合强大功能，算是合情合理。有一定单片机基础，又希望买一款功能强大的板子来开发的话，这款产品会是不错的选择。

爱因AY-USB51F

◎无线电实验室

品名	AY-USB 51F	厂商	江苏省启东市斯迈特计算机厂
参考价	280元	购买方式	网店、各地代理商、公司直销
公司网站	www.ayfl.com.cn	技术支持方式	电话、电邮
支持单片机系列	MCS-51系列	技术支持期限	长期
主板主要功能	LED、蜂鸣器、2位数码管、USB接口、串口、8位独立键盘	配件	USB线、串口线、光盘、电源
光盘内容	说明文档、演示程序、电路原理图、软件包等	代理商	北京金一倍科技发展有限公司（www.jinyibei.com.cn）

硬件

AY-USB 51F实验板（以下简称51F）采用自家的纸盒，内部用纸制隔层和发泡塑料板填充，快递运输中的抗冲击性能较好，可惜在实验板主体上没有采用防静电的包装处理，希望厂商可以加强。盒内包括实验板、串口线、USB线、电源适配器、光盘和使用说明书。

实验板是将PCB板安装到自家开模的塑料壳体上，这样的设计可以防止实验板背面的焊点外露所导致的一些问题，放在摆满元器件的桌子上也更有安全性。元器件布局是以单片机机座为中心，单片机引出的32个I/O口用跳线分隔，可以自由地接通或断开。笔者在拍照时发现，PCB板上有2个芯片周围有松香状的污物，在生产清洗时没有去除，但愿这是个别现象，希望厂商加强对实验板生产规范的管理。板上的接口标注字是中英文并用的，很清晰明了。算是一款中规中矩的设计。

软件

51F实验板的板载资源并不多，其中可以完成的实验功能有2位动态数码管、8位独立式按键、有8个LED指示、串口通信等。仅算作51单片机的基本功能，笔者按照光盘中的说明书操作将各种功能测试一遍，均很正常。但相对来说，这款实验板的功能较少一些，大部分功能都需要外部扩展，连最基本的温度传感芯片DS18B20都是要外部扩展的。实验板上设计有专用的USB转串口芯片CP2102，可以实现USB下载功能。在功能上这款产品主要还是基本的51单片机功能，作为单片机初步学习和程序烧写都比较适合。

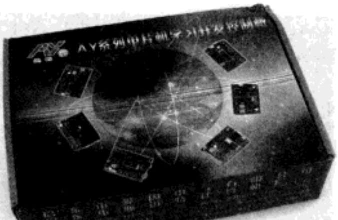


图1 包装盒

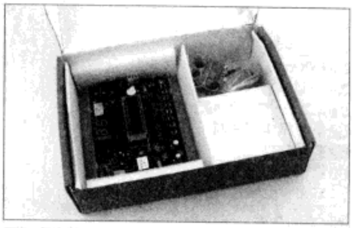


图2 盒内物品

图3 实验板及配件

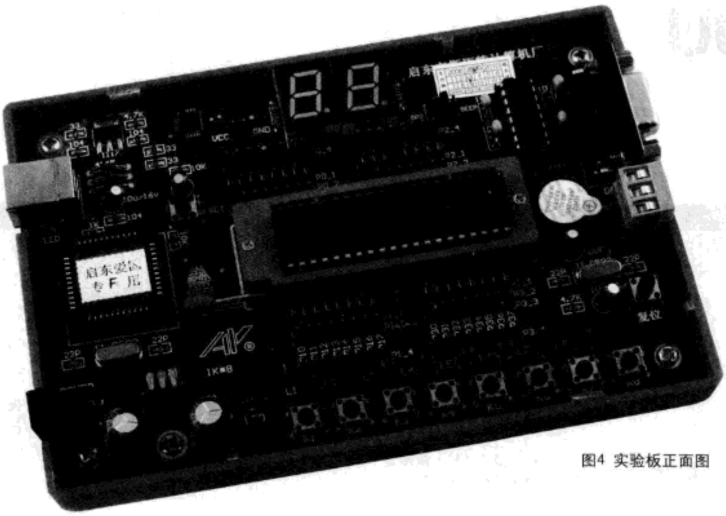


图4 实验板正面图

图7 实验板配套光盘资料

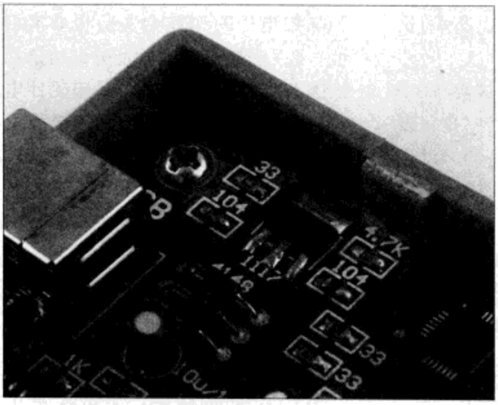


图5 部分元器件上有污物

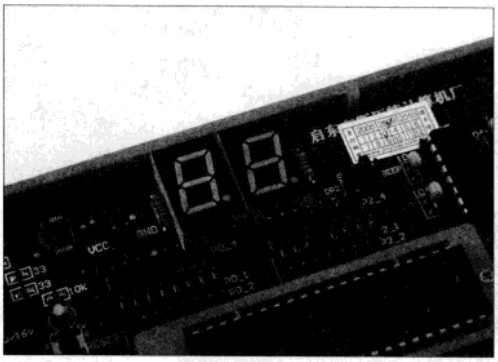


图6 2位LED数码管显示

51F实验板的光盘很有趣，它将该公司旗下的产品全部放在一张光盘上了，这样一来厂商可以统一发布一款光盘即可，而且用户可以买一款实验板而得到更多实验板的光盘资料。光盘中的资料层次分明、一目了然，可以方便地找到所需要的内容。光盘的内容包括USB驱动程序、单片机烧写软件、开发平台软件、常用工具、电路原理图和说明文档。笔者在安装USB驱动程序时发现了一个问题。打开AY-USB-51F的文件夹，却没有发现有USB的驱动安装程序，可是说明文档上却明明写着在这个路径下面，笔者又找了AY-USB-51F文件夹中其他几个目录，依然没有和说明文档中一模一样的可执行文件。为此笔者给该公司的技术支持打去电话，希望可以得到解答。

该公司的技术支持人员态度较好，也很有耐心地帮我解决问题。但她说，我想找的USB驱动程序不在AY-USB-51F文件夹下，而是在旁边的AY-USB-51E文件夹下的对应位置。经她的指引，我找到了USB驱动安装程序。当我问到为什么没有在AY-USB-51F中放入USB的驱动安装程序时，她就告诉我只要到那里找就可以了，其他的没说什么。可能厂商是希望使用者自己了解光盘内容，并找到需要的文件，可是对于初学者来说这一切都好陌生，所以希望厂商重视光盘资料的严谨性。

总结

优点：资料较齐全，实验板有背板外壳。

缺点：生产工艺一般，资料存放不严谨。

综合来看，这款实验板是51的基本实验板，与前几款集成了多种功能的实验板不能相比。我们选择它参加评测可以希望有一款价格低一些的实验板产品，适合荷包羞涩的初学者朋友。这款产品提供的资料较多，又支持USB接口下载。具有电话和网上的长期技术支持服务，相比280元的报价，确实值得考虑一下。另外这款实验板还有一个亲弟兄AY-USB 51E，它的上面集成了更多外扩功能，有兴趣的朋友可以到网上了解一下。

强联WS9700U

◎无线电实验室

硬件

品名	WS9700U	厂商	泉州强联单片机科技有限公司
参考价	360元	购买方式	网店、各地代理商、公司直销
公司网站	www.qlmcu.com	技术支持方式	电话、电邮、QQ
支持单片机系列	AT89S系列、AT89LP系列、STC全系列、AVR系列（40脚和20脚）	技术支持期限	长期
主板主要功能	8路LED、蜂鸣器、4位数码管、PS/2接口、串口、4×4键盘、独立按键、继电器、红外接收芯片、EEPROM	配件	AT89S51、ATmega8515、红外遥控器、USB线、串口线、1602液晶屏、ISP下载线、光盘等
光盘内容	学习资料、说明文档、演示程序、电路原理图、软件包等		

强联WS9700U开发板采用的是自家的包装盒。打开盒子，里面有开发板、1张CD-ROM光盘、USB线、串口线、软排线和遥控器。盒子内壁是用发泡塑料作为防振材料的，但发泡塑料比较容易松动，希望加强。除了标准配置的开发板、串口连接线、USB线之外还配备了一支红外线遥控器。USB接口可以为开发板供电，也可以用来下载程序。

WS9700U采用了直插式元器件，PCB布局比较紧密，将如此多的功能模块设计在一块PCB板上果然下了不少功夫。1602LCD液晶屏模块是用排孔插接上的，模块的四边和开发板的对应位置都有固定孔，但没有上固定螺丝。笔者感觉不太可靠，外力容易将其损坏。学习、实验的过程中开发板上按键和显示器件布局都很合理，操作上很方便。开发板的四边没有加装脚座，放在桌上时需要垫一些绝缘材料，希望厂商改进。其他的设计和操作都很方便，没有什么较困难的地方。

WS9700U上配置有蜂鸣器、8个LED指示、4位动态数码管、串行及I^2C总线的EEPROM芯片、4×4动态扫描键盘和独立式按键、128×64及16×2LCD显示屏模块接口、PS/2接口等。另外还可进行红外线遥控、继电器控制、串口通信等实验。这些功能基本上都是单片机入门最经典的学习项目了。从资源上看这款实验板和晶控电子的51综合实验板非常相似，区别是它将这些功能分配给单片机的各组I/O口，而不是采用硬件电路切换或是跳线的设计。经过笔者实际测试，各功能正常，操作也比较顺畅。强联WS9700U开发板上设有51和AVR的选择跳线，支持51和AVR系列单片机，配件上含有AVR单片机ATmega8515，同时还支持40脚和20脚两种单片机封装，而且板上有5V

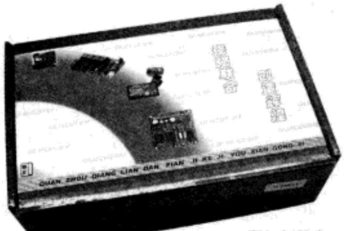


图1 包装盒

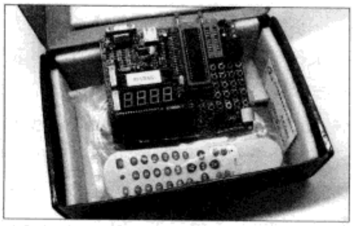


图2 盒内物品

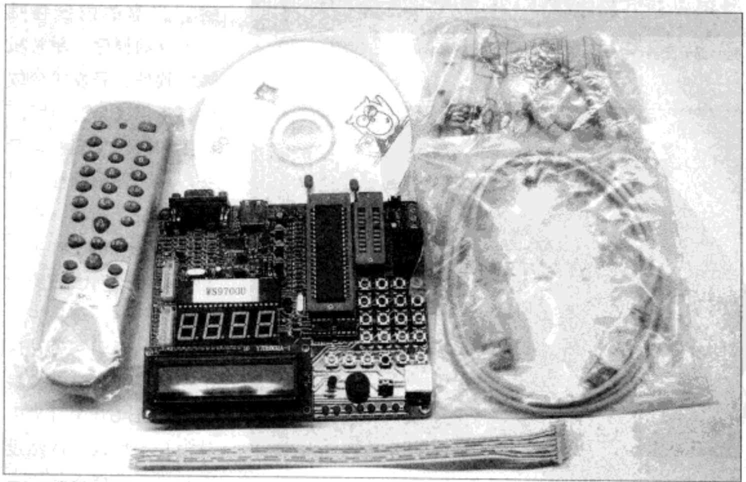


图3 开发板及配件

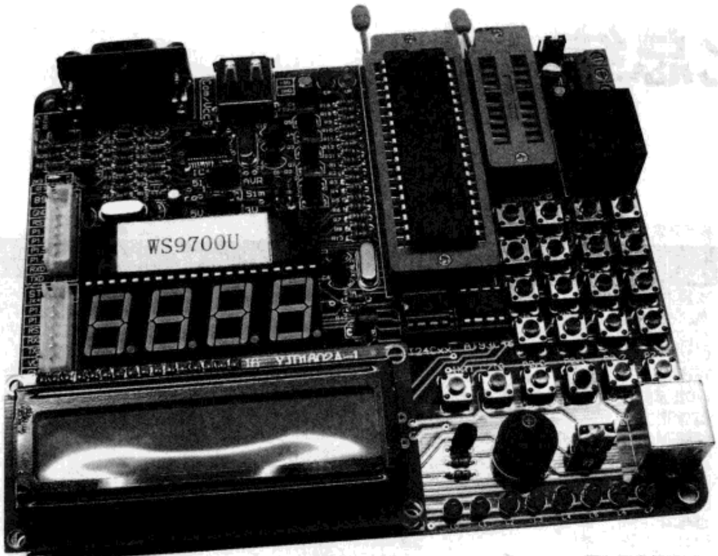


图4 开发板正面

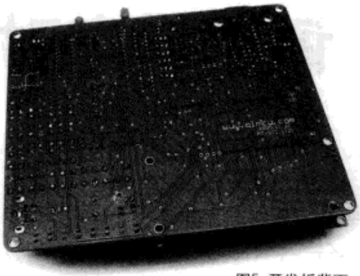


图5 开发板背面

图8 演示程序

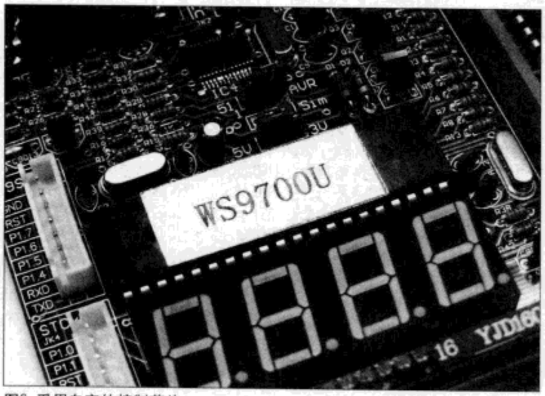


图6 采用自家的控制芯片

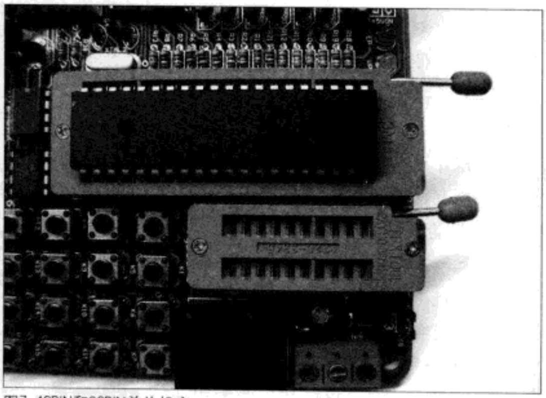


图7 40PIN和20PIN单片机座

和3.3V单片机的选择跳线，即可以支持两种电压的单片机。从这个角度上看，这款开发板所支持的芯片种类就很多了，经常使用多种单片机开发的朋友可以选择此款产品。

软件

WS9700U在接上USB接口时就会运行初始程序，LCD液晶屏上显示产品信息。在配套光盘中找到USB驱动程序，安装后电脑会识别到一个串口设备，再利用光盘配套的下载软件就可以下载程序了，操作上比较简单。实验板的配套光盘中也是将旗下的多款产品的资料放在一张光盘中，WS9700U资料中提供了大量的演示程序和工程文件，包括C语言和汇编语言的。将光盘中的演示程序下载到实验板上测试，各功能正常，但由于没有在源程序中加入详细的说明，学习这些程序会有一点困难。

总结

优点：设计合理，功能丰富，支持40脚和20脚封装。

缺点：包装一般，学习资料一般。

强联的这款WS9700U与晶控电子的51综合学习系统有一拼，他们都有强大的扩展功能，但晶控电子51综合学习系统在学习资料上比较有优势，WS9700U在相似的性能之下，价格比较有优势。而且它支持USB接口程序下载，更适合没有串口设备的电脑使用。有一定的单片机基础知识、动手能力强、又使用笔记本电脑的朋友可以考虑一下这款开发实验板。

评测横向对比总结

◎无线电实验室

本次评测的4款开发实验板，终于全然地展现在大家面前了。可以说现在51系列开发实验板产品的整体水平由此次评测可见一斑。由于开发实验板产品的技术门槛低、投入成本少，所以设计、生产开发板的企业和个人很多，各家产品的质量和服务差别较大，也存在着一些不良行为。本次评测所选择的产品都是由正规厂家生产的，相对而言更可靠，质量和服务都会有所保证。

笔者经过几天来对各实验板的学习、测试，对各产品的优缺点有了一定了解。在使用中也发现了不少的问题。下面让我们来对比一下它们，看看哪款更适合您的需要。

如果是初学单片机、手头又比较富裕的朋友，推荐你选择晶控电子的51综合实验板或强联的WS9700U。51综合实验板所具有的资料是多种多样的，而且内容系统、详实，独到的视频教程更会让学习变得轻松起来。强联的WS9700U在实验板具有相似性能的情况下较有价格优势。两款实验板上的扩展功能可以让你完成各种常用模块的学习与开发。51综合实验板的价格较高，而且不支持USB接口，WS9700U支持USB接口和40PIN及20PIN芯片座，支持多款单片机。在条件允许的情况下，还是希望选择它们，因为这些学习资料和丰富功能会令你事半功倍。

经济不够富裕的朋友，自然可以选择爱因AY-USB 51F实验板。这款具有51单片机基础功能板子的价格是很有吸引力的。在它的资料光盘里提供了该公司多款产品的资料，这些有价值的资料对于日后的开发扩展都很有帮助。而且它同样支持USB程序下载，适合各种电脑使用。

如果你注重开发实验，则向你推荐星研的STAR-MT51实验板，这是一款功能超群的开发板，双单片机座，支持编程系统和实验系统，支持USB程序下载和多种单片机。如果你是有一定单片机基础，又希望可以多做一些开发工作的朋友，则可以选择这款产品。价格相对适中，功能和技术实力都很不错。

也许你正准备学习单片机，也许你正打算挑选一款适合自己的单片机实验板。希望本文可以为这些朋友在不知所措之时提供参考，我们也希望实验板的生产厂商可以通过此文来对比各家之长、补自家之短，不断改进、创新，为单片机爱好者提供更好的产品和服务。

参评开发实验板横向对比总表

型号 项目	51单片机综合学习系统	STAR-MT51	AY-USB 51F	WS9700U
支持单片机	MCS-51、AVR	MCS-51、AVR	MCS-51	MCS-51、AVR
单片机封装	40脚	40脚	40脚	40脚、20脚
ISP下载支持	并口、串口（部分型号）	USB接口、串口（部分型号）	USB接口、串口（部分型号）	USB接口、串口（部分型号）
硬件仿真	有	有	无	有
LED指示灯	32路（全部I/O）	32路（全部I/O）	8路（P1口I/O）	8路（P1口I/O）
数码管	8位	8位	2位	4位
按键	4×4阵列和独立	4×4阵列和独立	8个独立	4×4阵列和独立
液晶屏模块	LCM1602（标配）、LCM12864接口	LCM1602（标配）、LCM12864接口	无	LCM1602（标配）、LCM12864接口
蜂鸣器	有	有	有	有
继电器	有	有	无	有
串口	有	有	有	有
EEPROM	24C02、93C46	24C02、93C46	无	24C02、93C46
实时时钟	DS1302芯片	DS1302芯片	无	无
温度传感器	DS18B20芯片	DS18B20芯片	DS18B20芯片	无
AD转换	ADC0832芯片	无	无	无
无线遥控	4键200m（可选配1000m）	无	无	无
红外遥控	有	有	无	有
步进电机驱动	有	有	无	无
PS/2接口	有	有	无	有
电源开关	有	有	无	无（软件控制）
复位按钮	有	有	有	无（由上位机软件复位）
电源	USB或DC9V电源	USB或DC5V电源	USB或DC5V电源	USB接口
平台软件	KEIL C51	KEIL C51	KEIL C51	KEIL C51
视频教程	入门教学和演示视频	无	无	无
说明文档	文档、图书、视频	文档	文档	文档
技术支持	长期	长期	长期	长期
支持方式	电话、电邮、QQ、论坛	电话、电邮、QQ	电话、电邮	电话、电邮、QQ
串口线	有	有	有	有
USB线	有	有	有	有
并口线	有	无	无	无
红外遥控器	有	无	无	有
无线遥控器	有	无	无	无
步进电机	有	无	无	无
电源适配器	无	无	有	无
优点	学习资料丰富	板载功能强大	性价比较高	多种单片机支持
缺点	不支持USB下载功能	学习资料一般	功能较少	学习资料一般
参考价	563元	500元	280元	360元

兴趣造就品质
爱好彰显非凡

欢迎订阅

【精品期刊】

资讯权威无价 邮识丰富有趣
图文精彩无限 邮友互动有情

入选中国期刊方阵
国家期刊奖百种重点期刊

邮发代号：2–222
定价：10元　全年定价：120元

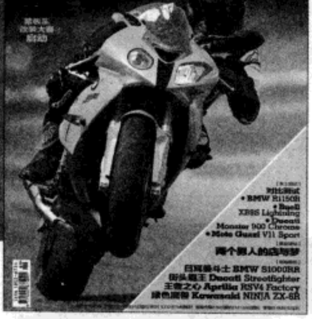
发烧音响制作 业余电台通信
开发实验维修 趣味基础入门

国家期刊奖
入选中国期刊方阵

邮发代号：2–75
定价：10元　全年定价：120元

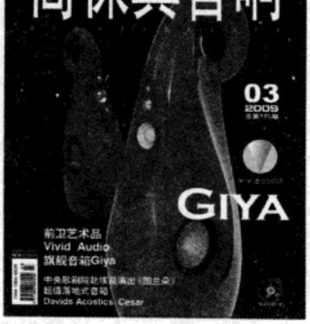
测评酷车新品 纵览赛事尘烟
展示骑士风采 尽显激情生活

全国汽车类期刊一等奖



邮发代号：2–342
定价：15元　全年定价：180元

赏鉴发烧名品 聆听天籁之音
融汇艺术科技 品味时尚生活



邮发代号：82–590　定价：20元
全年定价：240元（每期附赠光盘）

饱览电台设备 展现HAM风采
尽享沟通乐趣 品味无线生活

邮发代号：80–990　定价：15元
全年定价：90元（6期，双月刊）

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座　邮政编码：100061
电话：010–67164806　67133910　http://www.ptpress.com.cn

激发热情 提高水平

第七届音响制作比赛圆满结束

《无线电》杂志社和中国音响 Hi-FiDIY 网站联合举办的第七届音响制作比赛历经 7 个多月，在 2009 年新春佳节的炮竹声中圆满地落下帷幕。

本次比赛的主题为：“激发热情，提高水平”，从参赛的情况来看，基本达到了我们预期的要求。本次比赛总共收到参赛文章（作品）共计34篇（件）。这些作品中有青山不老的电子管功放、有引领潮流的单片机控制的IC功放和解码器、有线路复杂的全手工制作的晶体管功放，可谓是件件作品千姿百态，各路高手各显神通。让我们感动的是，很多烧友非常重视和珍惜这次自我展示的机会，充分利用参赛的有效时间，在比赛截止时间的最后两天，甚至最后的两小时，他们才递交上修改和调试了无数次的参赛作品，他们这种精益求精的精神非常值得赞赏和鼓励。还有很多烧友因为没能在规定的时间内递交作品而大感遗憾，我们希望更多的烧友能在下一届比赛中一展风采！

本次比赛的评选以网友的公开投票为主，共评选出一等奖一名，二等奖两名，三等奖三名，四等奖五名，评选的结果极具DIY特色，实至名归。

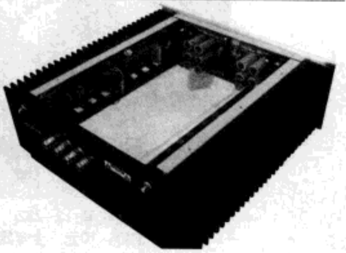
获奖作品情况简介如下。

一等奖作品

■我的作品金嗓子E305

参赛者：HIFI1231

该功放脱胎与国外某名机，其电路是属于全对称渥尔曼双差分结构输入，第二级也采用了渥尔曼共射共基结构，前后采用高低压供电，电压放大采用了洼田稳压。PCB设计完成度比较高,扬声器保护也整合在一起,分左右两个独立声道,稳压电源也是左右声道独立设计的。经过反复、大胆地改进和精细地调试，使该功放的整体布局巧妙、用料合理、做工精良、外观大方，因此具有很高的人气，殊荣头奖是在情理之中。



二等奖作品

■全手工DIY合并式功放

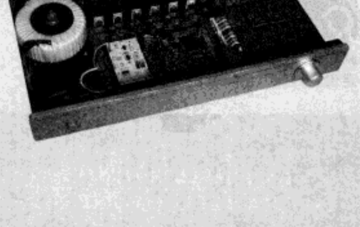
参赛者：勇DIY

该功放选用的电路是比较流行的，前置放大电路采用的是马兰士的HDAM模块的电路，增益定为3倍。后级采用的是全对称的电流负反馈电路。该功放从电路设计到PCB的制作都是自己动手的，充分体现了DIY的特色，尤其是如此复杂功放的电路，其相应的电路板完全是自己DIY的双面线路板，懂得DIY的烧友都知道这其中的难处，因此这件作品也具有极高的人气。在投票评选中，该作品的得票数和一等奖作品的得票数一直是你追我赶，齐头并进。

■8片分时并联架构的DAC

参赛者：cdream

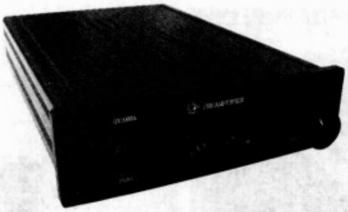
该DAC由CPLD来控制8片DAC芯片，采用“分时并联”的方式，在技术上有很强的创新性。这是本届比赛最有技术水准的参赛作品，但可能是“曲高和寡”的原因，在人气上略输于前两位，得票排名第三。这件作品布局规整，外观简洁，声音表现得到很多烧友的青睐，具有很强的实力。

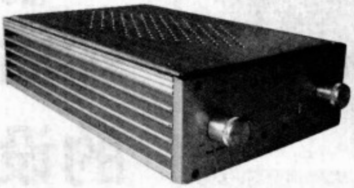


三等奖作品

■超平衡耳放　■平衡式2.1声道桌面功放

烧友“wuziwen”参赛的两件作品都荣获了三等奖，他的作品最显著的特点就是在设计中采用了低噪声前置放大模块和甲类偏置电源模块。该模块是在分析消化了安桥P388、M588、LUX公司的B-10、金嗓子A-100、P-1000等多款名机电路的基础上，经过反复试验、多次测试和试听后开发而成。采用该模块后可降低功放装配和调试的难度，因此他的作品充分体现出超强的综合实力。

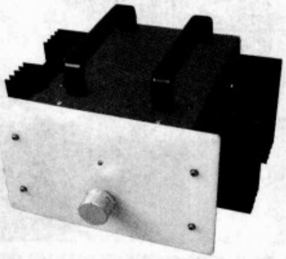




参赛者：wuziwen

■全手工——再战袖珍甲

该袖珍小甲类是一款体积袖珍、方便使用的桌面功放，该功放设计思路明确，制作认真，结构合理，外观简洁、明快，颇见DIY的功底。

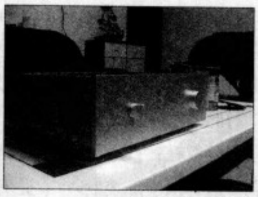


参赛者：he121

四等奖作品

■为圆孩时的梦——记JADIS经典电路制作

该JADIS JP200为胆前级，JP200为全并联两级共阴极放大，附加阴极跟随器为输出，并施加有大环路的负反馈。这款作品设计周密、工艺精致，看得出作品人是一个完美主义者。



参赛者：天鸿

■我制作的变形金刚小甲

“变形金刚”小甲是一台带音量控制的甲类后级功放，采用“可变声道”电路结构，其特点是在听立体声音乐时，功放工作于双声道甲类输出，而听多声道SACD音乐时，功放可分解成6声道Hi-Fi功放输出。

参赛者：wugangwh

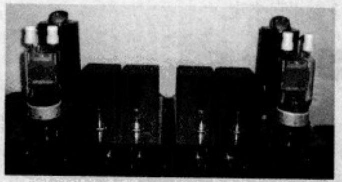
■分体式DTS解码&卡拉OK功放的设计与制作

解码系统的DTS解码采用的是Crystal的CS493264芯片，卡拉OK混响模块采用的是三菱公司的M65856SP双声道数字混响芯片。该系统具有DTS、AC-3解码、卡拉OK混响、电子音量控制、后级待机控制等功能。

参赛者：ysd85

■FU80-胆机中的战斗机

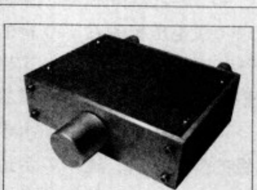
电路采用6N8P SRPP+6J4P+ FU80。FU80是直热式功率五极管，屏耗可达600W之多。每个声道采用两个高压“环牛”和一个灯丝“环牛”。



参赛者：胆大妄为

■我依然爱你，1875

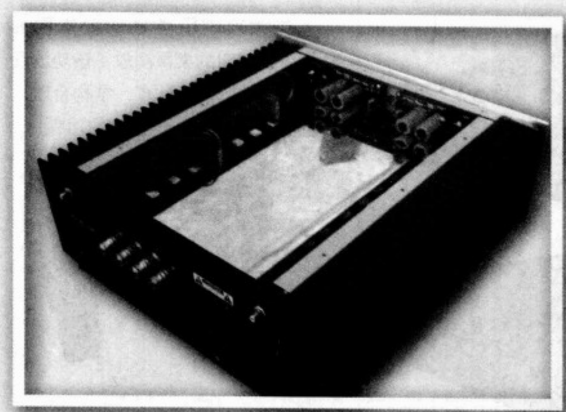
该作品最具特点的是它的机箱的面板、盖板及旋钮为全铝磨砂的。整个机箱的制作工艺十分精良，不夸张地说可与数控加工媲美。



参赛者：生鱼片7219

以上获奖作品的详细设计方案及制作步骤已陆续在本刊刊登，有兴趣的读者可密切关注我们近期的杂志，也可以访问HIFIDIY网站的主页：www.hifidiy.net。

欢迎各位热心的烧友参加下一次的DIY大赛，一起加入到音响DIY的大家庭中来，互相学习，互相帮助，共同进步，“激发热情，提高水平”，为我们的业余生活添色增彩。



—参赛作品选登（一等奖）—

◎张安聚

一款改进型纯后级甲类功放的设计与制作

在少年时我就对音响有浓厚的兴趣，《无线电》杂志和《电子报》是我获取知识的主要渠道，曾用很多芯片制作过一些功放（如：HA1392、TDA2003、LM1875、TDA7294等）。虽然当时采用的制作工艺比较初级，却也给我带来了无限的乐趣,在享受乐趣的同时也学到很多宝贵的知识。随着烧龄的增长，我对音响的追求也在不断地提高，后来通过网络结识了志同道合的网友“狂狼”，经过半年的努力，我们合作设计了这款改进型纯后级甲类功放。在此奉献给大家，希望与广大音响DIY爱好者共同交流。

一 电路设计

金嗓子E305是一款日本比较出名的功率放大器，因其声场开阔、音色平衡、大气而闻名于音响发烧界。我们以该机电路为基础并做了大胆地改进，最终形成的放大电路如图1所示。

本电路是属于全对称渥尔曼双差分结构输入（见图1）,该输入结构的电路具有失真低、频响宽、线性好等优点。第二级也采用了渥尔曼共射—共基结构，并用两对管子并联来增强对后面推动级的驱动，以进一步减少电压放大级的过载失真和线性失真。伺服电路也是本机的一个亮点，传统的伺服一般从输出端取信号，经运放积分放大得到一个比较电压来控制放大器的反相输入端，这种伺服电路对声音有一定的影响，特别是低频。对此，笔者做了大胆改进和测试，把控制点取在输入差分级的上、下臂的中点，这样对中点控制得比较好（可以控制到1mV以下）。经实践，证明此改动非常成功，削弱了伺服电路对音质的影响，使功放的低频更从容和大气。

二 原理简述

1. 主放大原理

输入级为FET的结型场效应管组成的渥尔曼双差分结构，由VT2、VT3、VT6、VT7和2对2SC2240/2SA970共同来承担。由于K170/J74耐压比一般双极型管子低，为了保护第一级的场效应管不被过压击穿，+73V经R5和R7分压，使VT1、VT5的b极电压控制在20~22V，－75V经R15、R12分压，使VT4、VT8的b极电压控制在20~22V。差分交接点的两个电阻R9和R10（22Ω）可决定本级的静态电流，建议第一级电流控制在2.3~2.5mA，也就是电阻R3、R4、R14、R16（1.5kΩ）两端的压降控制在3.75~3.45V，这样计算出来的电流刚好合适3.75/1.5=2.5（mA）。如果这4个电阻压降偏差较大，应重点检查输入级的4个场效应管的配对情况。

第二级也采用渥尔曼的共射—共基结构，是采用两级并联，其目的是提高其放大性能和拓宽频响。本级放大管采用的是2SA1145/2SC2705，本级的电流由R17、R18、R23、R24这4个负载电阻来决定，建议控制在12mA以内，也就是单级电流控制在6mA以内。为了获取更好的线性，本级增加了电压放大对地负载电阻R19、R21，即适当降低开环增益。电流放大级还是采用传统的两级达林顿结构。

推动级采用的是TO126封装ON的MJE15032/MJE15033，工作电流控制在35~50mA。调整R27、R28的阻值可以控制电流的大小。输出级没有采用原机的K1529和J200，而是采用了三肯的2SA1295和2SC3264，三对并联输出，其目的是追求更大的动态和细腻的音色。本级的电流根据散热器的大小来决定，一般在350mA左右比较合适（20W左右的甲类功放的中等音量）。在欣赏大动态交响乐时，可以输出更大的甲乙功率。笔者不崇拜大

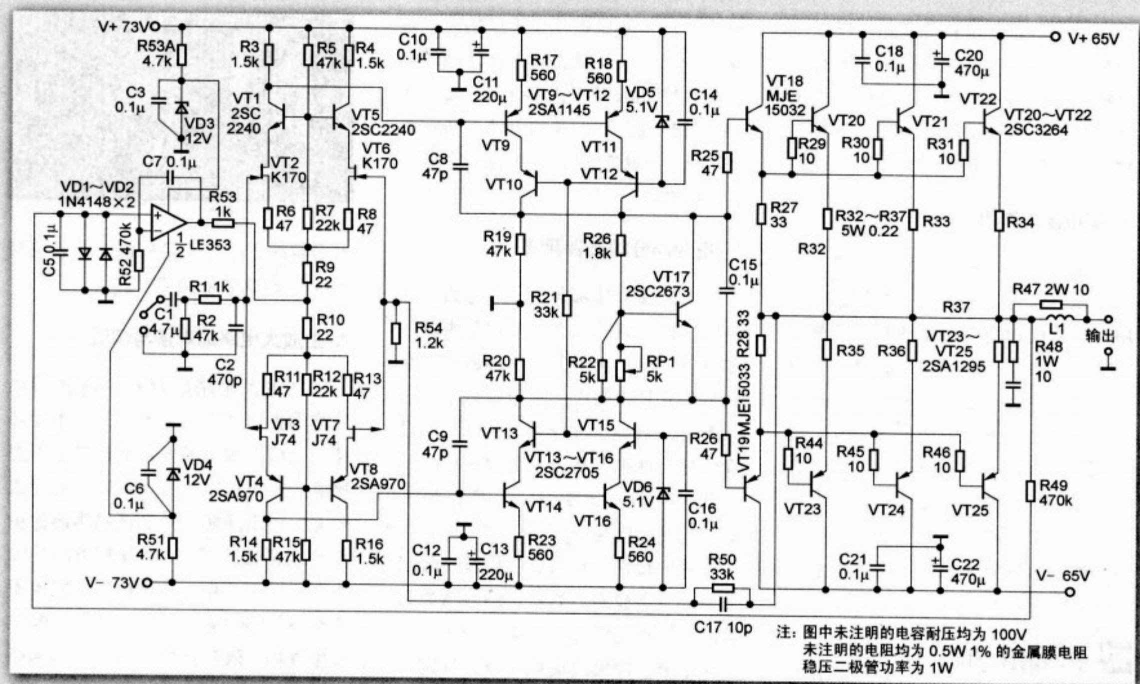


图1

功率的甲类功放，更喜欢高偏流的甲乙类，因为我们平时听音乐并不需要开到100W纯甲类那么大的功率，这样白白浪费很多电能。高偏流的甲乙类动态更大，也比较节能。

另外，本机为了稳定工作和防止自激，在多处做了频率补偿，这也是为了防止20kHz的方波不会发生过冲。在反馈电阻上并联了超前补偿电容C17，在电压放大级并联了C8、C9，在输入级加上控制带宽的RC式低通滤波器，这一切都是追求更高的稳定性能和频响。

2. 扬声器保护原理

该电路具有开机延时、中点偏移、瞬间关断、输出短路保护、故障灯报警等功能，由于此电路比较常见，在此不再详述。

3. 电压级稳压电源

该稳压电源是在日本的高速洼田电源基础上改进而来，见图2，它具有输出电压稳定、输出纹波小等优点，常用于前级放大或耳放电路，以提高解析力和声音的清晰度。由于原恒流的二极管较难购买到，因此改用了场效应管K30和电阻的组合来替代恒流的二极管，经实际应用，效果还不错。此外，在整流、滤波之间改用CRC的滤波方式，经CRC滤波之后再经洼田稳压，效果非常好，在500Ω负载上输出纹波有1.5mV左右，见图3，几乎接近了电池的效果。

三 元件的选取

1. 电阻的选取

由于本机是全对称的结构，末级输出为甲类状态，故对元件的要求比较严格，所有的电阻没有特别注明的均采用1%的5色环0.5W的金属膜电阻，输出级的电阻选用了无感0.22Ω/5W的电阻，有条件时此电阻最好用数字电桥精密配对。

2. 电容的选取

所有的电容均要采用高品质的电容，输入端的电容采用MKP系列的WIMA，或苏伦的，容量在3.3~4.7μF。该电容对音色有较大的影响，制作者可根据自己的爱好来选取。因为电压级的供电电压高达±73V，考虑到市电的波动，因此稳压电源和主放大电路的退耦电容要选取耐压在100V以上的。主电源滤波电容要选耐压在80V左右的。由于本机在20W左右是纯甲类功率输出，对电源纹波和电源的负载能力要求较高，所以单声道要有60 000μF以上的电容，推荐日本的伊那和松下系列的，有条件的采用RIFA169系列的更好，当然，读者也可以根据自己的喜好来选取电容。

3. 三极管的选取

本机所用的三极管数量也并不算

太多，况且是全对称的电路，所以所有的管子都要在5%以下严格配对。三极管的配对是好音质的基础，建议严格配对，当然不配对也可以正常工作，但声音还是有区别的。

4. 变压器的选取

由于本机功率较大，又是双、单声道设计，为了追求更高的信噪比，所以要求使用两只独立环形变压器，单个的功率应在500W以上，高低压相互独立的绕组，推荐单声道绕组的电压为：电流输出级采用的是大电流双供电52V，电流4.5A以上，电压放大级采用的是小电流双供电65V/0.5A，小电流单供电10~12V/0.5A，扬声器保护电路用的变压器要求品质优良，以免在带载情况下有讨厌的“哼”声。

四 安装制作调试

以上所有的元件都准备齐全后可以进行焊接了，为了追求更高的效果，所有的PCB采用PROTEL99SE软件绘制，除主电源板是自己刀刻的外，其余全部是双面板，找正规的大厂家生产的。为了方便安装，元件的编号和参数都已丝印到PCB板上，只要不插错元件或装上有问题的元件，基本上是可以一次通电完成。该PCB电子版可到本刊网站上查询。

1. 电源部分的安装调试

先焊接稳压部分的元件，为了保险起见，所有的元件要用数字表测过才可以焊接，电阻要检查阻值是否准确，电容是否漏电，二极管和三极管PN结是否正常。由于所有的PCB都是双面的，焊错了要拆下是很麻烦的，因此焊接前一定要细心和严格地测试。焊接顺序是先焊电阻和二极管等比较矮的元件，然后是三极管，最后是电容，焊接完成后要仔细检查焊点有无虚焊和短路等，检查完毕就可以直接通电，输出端接数字表，分别调两个可调电阻，使输出电压正、负都在73V即可。

电流级电源板比较简单，可以搭棚焊接，要注意整流桥的输出电压和

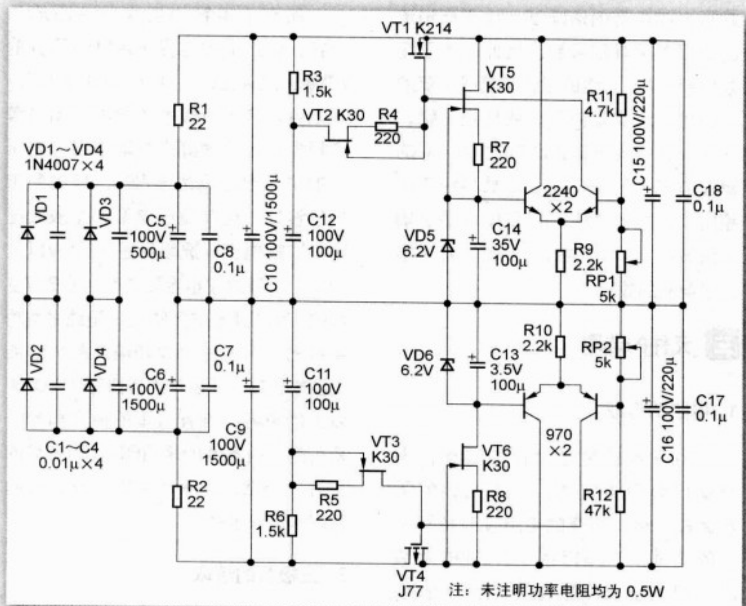


图2

图3

电容组的正、负不要接错，一般空载电压在±70V左右为正常。

2. 主放大电路的焊接与调试

主放大电路的焊接与前面所述的步骤相同，但大功率管子先不要焊接，伺服运放也不要插放，等全部焊接好后，先检查所有焊点有无虚焊或短路，如没问题，再调试扬声器保护部分，将交流12V接到保护电路的输入端，然后通电，扬声器保护继电器应在3秒左右吸合，此时用数字表的二极管挡一表笔接地，另一表笔接扬声器输出端，继电器应马上断开。再接光耦和一个0.22Ω电阻连接点的输入端，继电器也同样断开，这说明扬声器保护电路是正常的。下面就可以继续检查电压放大级和推动级了，把稳压电源的±73V接电压放大接线端子，通电2秒钟马上断开，看有没有元件异常发热和冒烟，如有异常，要仔细检查，如正常，可以直接通电。用数字表先测输入级的R3、R4、R14、R16这4个1.5kΩ电阻上的压降是否在3.45~3.75V，电压放大级的R17、R18、R23、R24这4个560Ω电阻上的压降是否在2.65~2.85V，伺服运放的8脚和4脚的电压是否在±12V左右。如果一切正常，断电，把电压级和电流级的供电接线端子先连在一起，伺服运放也插上，在两个推动管子VT18和VT19的e极电阻交汇点和地之间接0.5W左右的小扬声器，前后都先用±73V稳压来供电，再次通电用手摸输入处扬声器，此时应有“哼哼”的感应交流声，再用数字表测两个推动管子的E

极之间的电阻R27、R28（33Ω）上的电压，用螺丝刀调节主板的可调电阻RP1，使R27、R28上的电压在33mV左右，这说明电路一切正常，可以放心地焊上大功率管子了。

3. 综合调试

把大功率管子固定到大型散热器上面，要注意管子所用的绝缘云母片和导热硅胶的质量，要让管子和散热器紧密贴合，要注意推动管子和温度补偿管子的固定螺丝，要加装绝缘的塑料小垫片。

此功放的机箱是购买的成品箱，在机箱两边的散热器上又重新加装了均热的铝板，目的是让散热器两端的温度和中间管子比较密集地方的温度偏差尽量小点，功放的内部布局如图4、图5所示。所有管子安装完成后，要用数字表仔细测所有的管子有无与铝板导通，这点一定要注意，否则一旦有短路或漏电，大管子就要烧毁。检查完毕后分别把电源线接上，电压放大级接稳压±73V，电流级接电容组输出的±65V，扬声器保护的12V交流电压也接上，扬声器输出端子接一个8Ω/50W的功率电阻，主要是不要空载就可以。为了安全起见，在变压器的初级串联一个100W左右的灯泡，其目的是防止万一有问题而不烧大管子等比较贵的元件。如果通电后灯泡从猛亮到慢慢地暗下来，则说明电路基本正常，这时拆除灯泡，将交流220V直接输入到变压器，再次通电观察15分钟。如果没异常，再用数字表DC2V测扬声器输出端，该点电压应在30mV以下，如果不正常，应检查伺服运放等元件，如有损坏的元件要更换，然后用数字表两支表笔随便接一个大功率无感电阻两端，调整主放大板上的可调电阻，使0.22Ω的电阻上的压降在22mV，再观察15分钟，如果大管没有异常发热，再次调整可调电阻，

图4

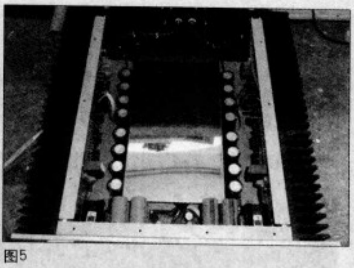


图5

最后0.22Ω电阻上的压降达到77mV，调整完毕，这样末级的电流为单对管子350mA，单声道静态总电流为1.05A（350ma×3）。观察30分钟后，再次测扬声器输出端子电压，在30mV以下为正常，本机有直流伺服，一般不用调试中点也会在5mV以下。最好接上示波器和信号发生器，测试200Hz、2kHz、20kHz的方波，看其波形是否畸变和失真。如有失真，要重新调整超前补偿电容和电压放大级的频率补偿电容的容量，直到波形满意为止，到此调试全部结束。

两声道同样调试完成后就可以进行最后的总装了，总装时要注意通过大电流的导线和扬声器的输出线要尽量用比较粗的导线，这样有利于大电流瞬间通过，所有的连线要整洁，最好用绑线扎带绑好，以保证美观漂亮，安装完成后就可以聆听美妙的音乐了。

五 试听感受

本机经过一个星期的煲机老化后，效果令人相当地满意。首先是信噪比，耳朵贴近扬声器几乎听不到噪声，只有高音扬声器有轻微的“嘶嘶”声。播放惠威试音碟的《加洲旅馆》，这首曲子相信广大发烧友们都非常熟悉，开头的吉他声非常清晰且有层次感，那几声大鼓的低频也有力、真实。试听几首交响乐，庞大的动态把交响乐的大场面刻画得非常逼真，仿佛乐队就在身边。试听民歌，甜蜜的女声令人陶醉，二胡的伴奏柔顺并有韵味……

六 最终的测试指标

输出功率：162W +162W （甲乙类8Ω负载），320W+320W（4Ω负载）、20W+20W （纯甲类8Ω负载）；频响：20Hz~25kHz±0.3%；输入阻抗：47kΩ，信噪比：大约100dB，整机净重：45kg。

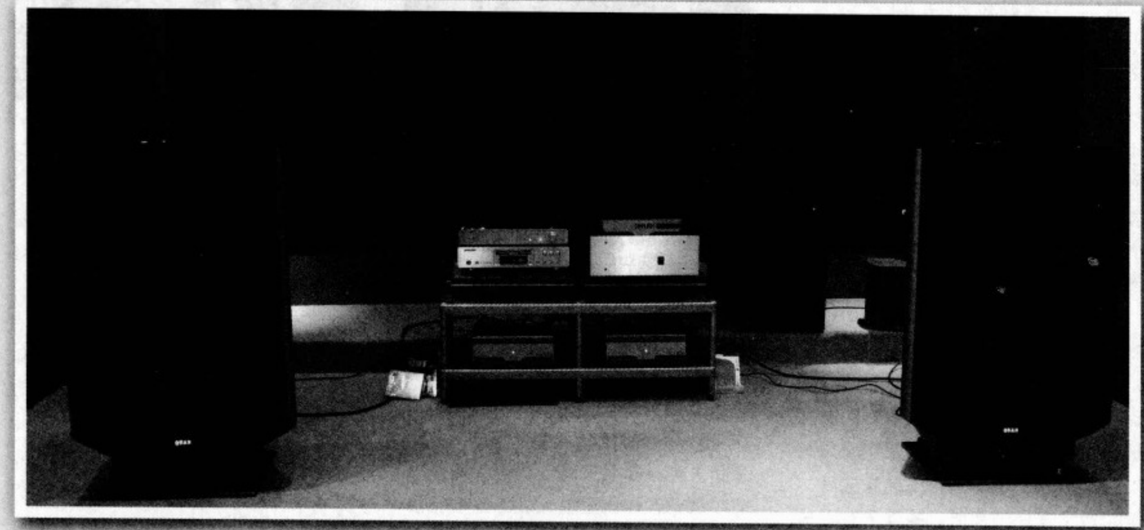
◇作者简介

我是70年代后出生的，从小学起就对电子器件有浓厚的兴趣，从收音机到收录机、VCD等，只要买到手，我都会好奇地拆开看看。在《无线电》杂志和其他电子报刊中我学到了很多知识，我开始迷上了音响DIY。回忆起这段历程，已经有15年了，我所有的业余时间都投入到DIY之中，其中有很多辛酸，也有很多快乐。通过网络我结识了很多和我一样热衷于音响DIY的朋友，共同的理想和追求使我的音响DIY水平有了很大提高，我相信自己的一生都离不开音响DIY，因为我爱音响DIY！

◎吴巍

—参赛作品选登（二等奖）—

初试8分时并联DAC



在音响DIY的圈子里，DAC直接并联的代表作是TDA1543并联，比如8片直接叠加并联，制作成功的人较多。

DAC并联会出现什么效果呢？最显著的效果有：（1）输出模拟量会提高，比如两个DAC并联，输出量并联叠加了，输出量会增加1倍，相当于放大了信号。从某种角度说，提高了DAC的解析精度，在听觉上会感到动态变大、解析力变强。（2）实际运用中的多种因素导致DAC不能工作在理想状态，这样输出信号会难免存在误差，这种误差会导致在听感上有一些细节丢失了，不生动，缺乏感染力。但是几片DAC并联后，可以互相弥补这种缺失，第一片丢失的量，其他几片则不一定丢失，因此采用并联后，这种丢失细节的情况就会减少很多，听感上会感觉密度增加、细节多、保真性较好。

本文介绍分时并联，就是几片并联的DAC芯片不是同时输出信号，而是依次输出信号，最终输出量是被依次叠加上去的。这种方式可以使输出曲线更加平滑，理论听感上应更自然一些。

第一次接触到的分时并联资料是金嗓子的DP-700转盘的架构说明，即“MDS++”的DAC数据处理架构，如图1所示。

这个转盘在处理DSD数据流时，采用了8片DAC，这8片DAC不是同时工作，而是在一个数据周期内，按8个时间点，8片DAC依次输出模拟信号。这个和直接并联不同，直接并联是将信号直接并联，输出量是并联前的8

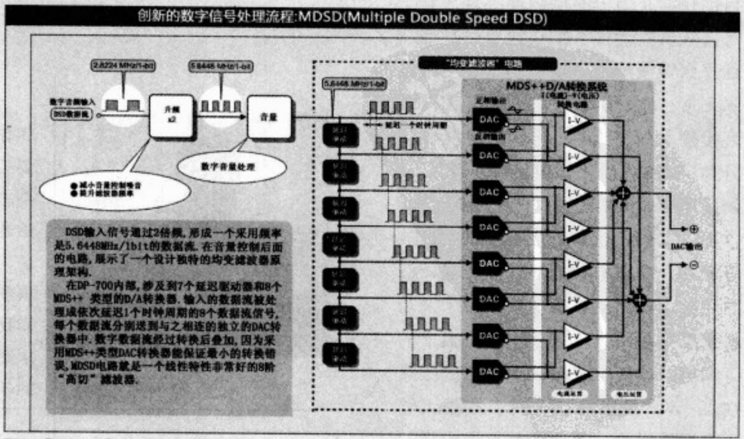


图1 “MDS++”的DAC数据处理架构

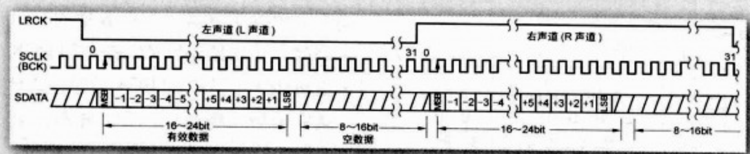


图2 I²S数据流时序

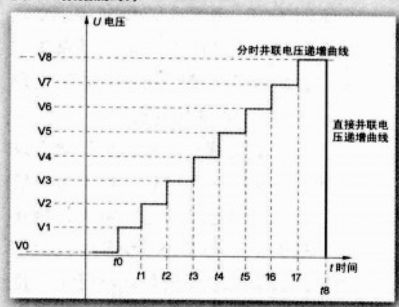


图3a 并联时序的输出波形

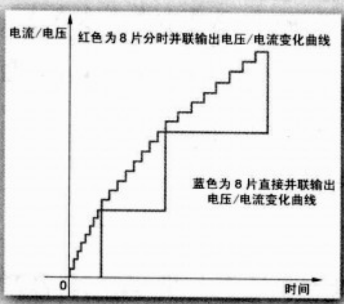


图3b 并联效果示意

倍。DP-700转盘的这种并联时序是将输出依次叠加上去了，其输出波形如图2所示。

可惜DP-700分时并联架构只用在DSD数据处理上，对普通的CD机的I²S信号，它采用的是直接并联，可不可以将这种架构移植到普通的I²S信号处理上呢？想了很久，没想到理想的方法。某晚准备入眠的时候，突然开窍，想到了分时时序的处理方法，下面将详细说明I²S 8分时并联的架构和硬件实践电路。

一 理论架构

I²S数据流时序如图2所示，其基本结构有如下几个特点：（1）标准的I²S数据长度（SDATA）一共是64bit，其中L通道为32bit，R通道为32bit。根据音源的精度格式，其中有效的数据可以是0~32bit，基本上常采用的是16bit、18bit、20bit、24bit，很少有大于24bit的（有款新的DAC芯片AK4397，它能支持32bit的有效数据），也就是说，在通常的I²S的SDATA数据中，每个通道会留有8~16bit的空数据。在数据传输时先传数据的最高位（MSB），再传最低位(LSB)。（2）标准的LRCK频率和音源的采样率要保持一致（比如44.1kHz、48kHz）。在I²S格式中，当LRCK=0电平时，代表SDATA的是L通道的数据，DAC会将SDATA数据送到L通道的数模转换模块中，当LRCK=1电平时，代表SDATA的是R通道的数据，DAC会将SDATA数据送到R通道的数模转换模块中。当LRCK上升沿或下降沿到来时，DAC会输出R声道或L声道的模拟信号。（3）SCLK(或BCK)是数据位使能信号，在I²S格式中，当SCLK上升沿来到时，SDATA数据会被DAC识别。每个SDATA数据需要一个SCLK上升沿来使能，那么在一个LR周期内，就对应有64个bit的SCLK脉冲，L通道有32个，R通道有32个。

要让I²S输入到8个不同的DAC里面，并且实现DAC依次在不同时间输出，需要对I²S信号动些手脚。早期的DAC有一种数据输入模式就是L通道、R通道是分开的，L、R数据传输完毕后，来一个使能信号，就可以使DAC输出模拟信号。如果采用这种模式，时序上就很简单，如16bit,当数据传好第16个脉冲，第17个SCLK脉冲来到时，给第一片DAC芯片一个使能信号，第一片DAC就输出了一个模拟信号，当第18个脉冲来到时，给第二片DAC芯片一个使能信号，第二片DAC就输出了一个模拟信号……直到第24个脉冲来到时，可以给第8片DAC芯片一个使能信号，第8片DAC就输出了一个模拟信

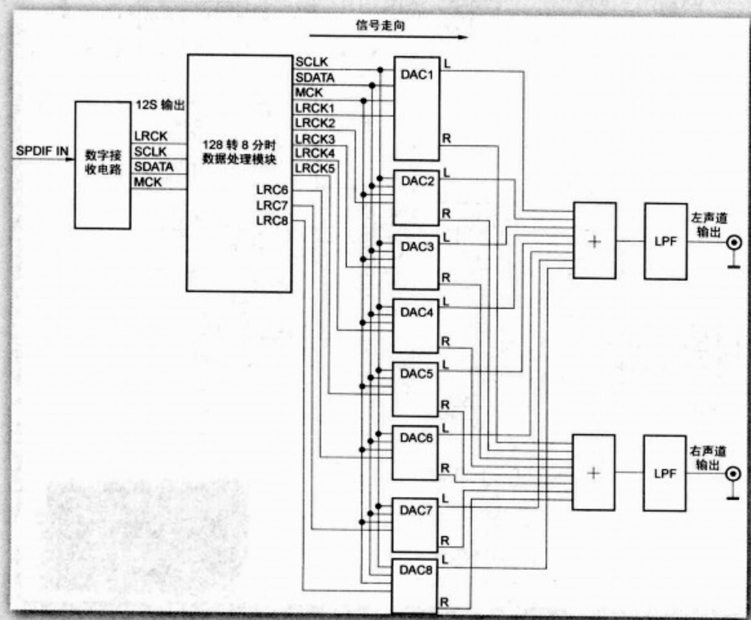


图4 并联时序的实际电路

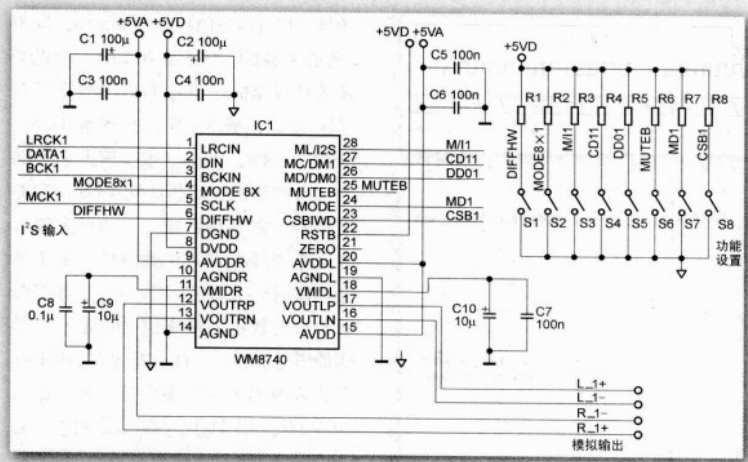


图5 WM8740音频DAC芯片

号，这样就可以实现8片DAC信号依次输出模拟信号了，这种数据结构与金嗓子的DP-700有点类似，其模拟信号输出如图3a所示。

从图3a可以看出，在$t1$时刻，第一片DAC输出电压V1,在$t2$时刻，第二片DAC输出同样大小的电压，通过累加器累加到V1上，形成电压V2……到$t8$时刻，最终电压累加到V8。在$t0$到$t8$，DAC并联输出会以一个阶梯上升的曲线。如果直接并联的话，在$t8$时刻来个使能信号，就直接输出V8电压，在$t0$~$t8$的时间内，DAC输出始终是V0，可以看出，分时并联处理相当于对DAC输出的曲线又做了一个8次细分处理，DAC输出的模拟曲线会更接近原模拟信号。

图3b为效果示意。

在I²S规格中只有一个数据线，如何处理出这样的时序呢？如前所述，DAC的L、R模拟输出端是在LRCK上升或下降沿时才建立新的模拟量，因此我们只要充分利用I²S那段空数据的时间来处理这个信号。在空数据的时间来到时，依次给8片DAC来一个LRCK边沿跳转即可。如：LRCK=0时，LSB传输完毕后，经过1个SCLK脉冲，第一个DAC的LRCK立即跳变到1，经过2个SCLK脉冲，第二个DAC的LRCK立即跳变到1……在LRCK=1时，其跳变相同，这样就可以使I²S也可以处理出那种电压分时间累加的效果了。

I²S理论上是这样处理的，接下来要做的就是怎么并联处理模拟输出信号了，如果是电流信号，可以直接并联，总的输出电流会出现分时变大的效果。如果是电压信号就不行了，直接并联会造成各个信号互相干扰，这要通过一个电压加法器来累加这个电压信号才行。累加器输出的电压信号再经过LPF（低通滤波），就可以输出音频信号了。

图6 焊接好的WM8740 DAC模块

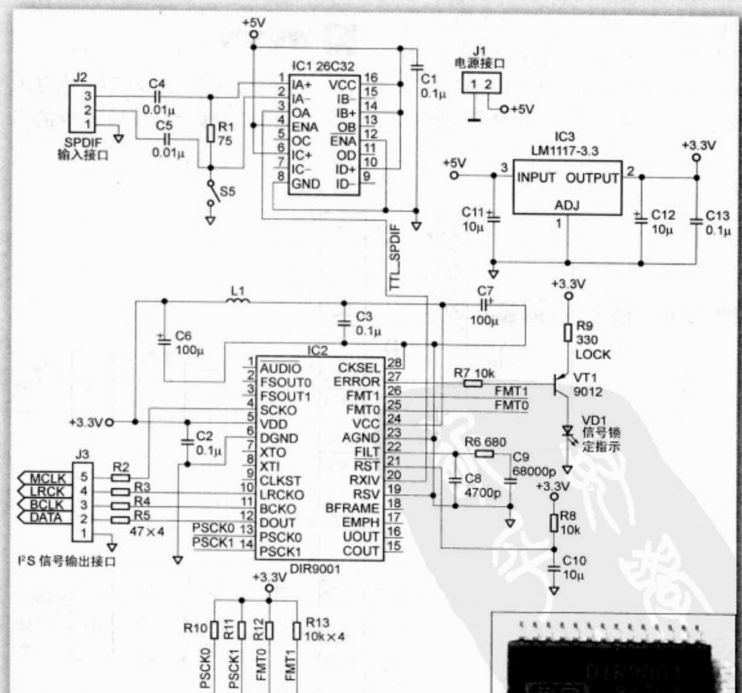


图7 基于DIR9001的数字音频接收模块电路图

图8 Dir9001数字音频接收芯片

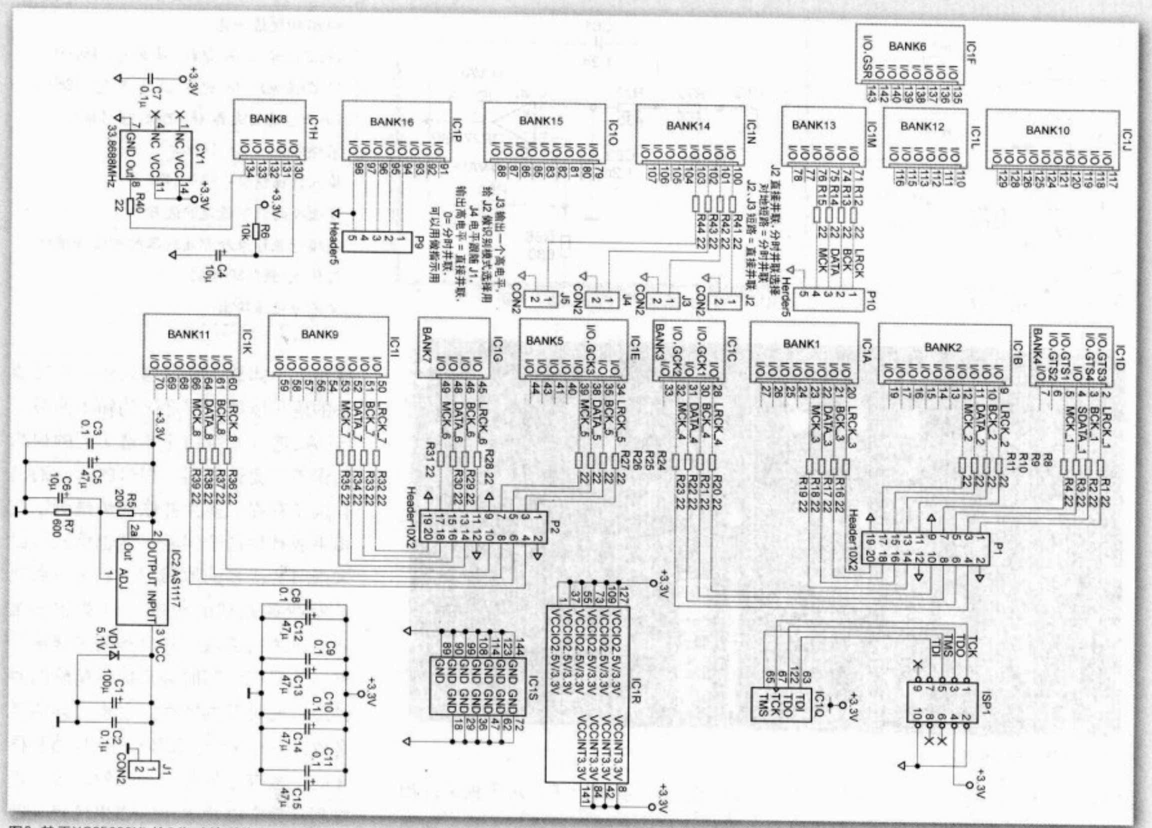


图9 基于XC95288XL的8分时并联信号处理模块电路图

到这里，理论上关键信号处理架构就完成了。实际电路上遵循如图4所示的架构就可以了。

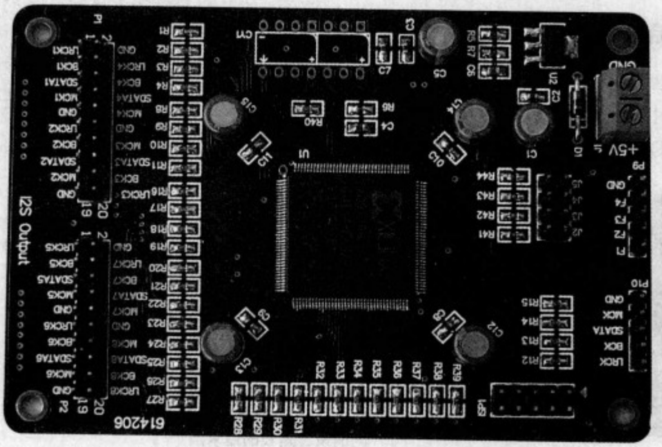


图10 基于XC95288XL的8分时并联信号处理模块硬件实物

二 制作实践

DAC选择

DAC芯片选择了Wolfson的WM8740，其电路如图5所示，焊接好的电路板实物如图6所示。在一些高端的DAC和高性能的声卡都可以见到WM8740的身影，单片WM8740有很不错的表现。

数字接收芯片选择

数字接收芯片采用的是DIR9001，其电路如图7所示，该数字接收芯片是近两年才推出的，具有超低时基(50ps)，其外形如图8所示。

数字信号处理模块

数字信号主要由CPLD（可编程逻辑模块）来处理，其电路如图9所示，该芯片采用的是美国xilinx公司的

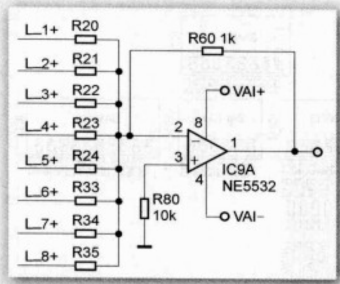


图11 模拟信号叠加电路

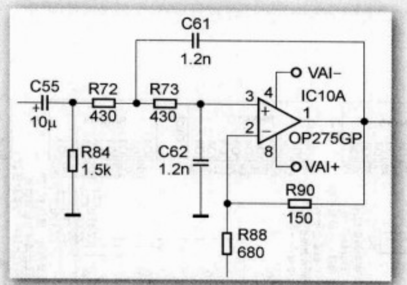


图12 DAC模拟输出LPF（低通滤波）电路

WM8740规格一览：
120dB信噪比 (A 记权 单声 @ 48kHz)
117dB信噪比 (A 记权 立体声 @ 48kHz)
104dB总谐波失真 (A 记权 @ 48kHz)
采样频率 ：8～192kHz
输入数据精度：16～24bit
可选择的数字低通滤波器
连接行业标准外部滤波器的可选择接口
硬件或3线制SPI控制
全差分电压输出

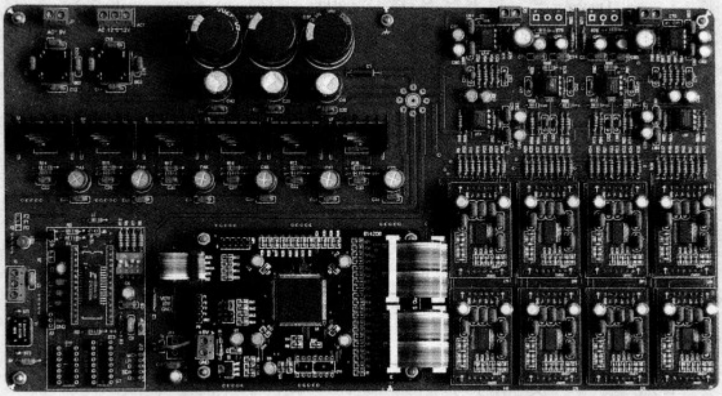


图13 最终完成的电路板

XC95288XL（7ns、3.3V），软件是用Verilog HDL编写的,焊好的硬件电路模块如图10所示。

模拟信号叠加电路

前面说过了，输出的电压信号是不能直接并联叠加的，这里用了一个加法器电路，图11所示的是左通道的模拟信号叠加电路。L1+….L8+是分8个连续的时间点依次出现的,NE5532的1脚输出的波形如图3b所示。

DAC模拟输出LPF (低通滤波) 电路

因为是试验制作，所以模拟电路采用数据规格书上的标准电路，其电路如图12所示，这是有源二阶低通滤波电路，最终完成的电路板如图13所示。

三 试听

调试好CPLD程序，完成了所有电路的连接，要试听了，对于最终能出来什么样的声音心里还是没底。邀请几个玩音响的朋友在一起试听，结果大家一致认为灵敏度、密度、细节、层次、速度感都比单芯片的有很大地提高。这次试作很成功，比预想的要好。

四 后记

这款8分时并联DAC开始设计、制作时，很多朋友说，为什么不用一片DAC，用倍频插值法来优化输出？理论上，如果DAC足够理想，用插值法的确可以做到很漂亮的输出曲线，但DAC芯片本身由于制造工艺的缺陷和误差，会造成同一型号的DAC输出有误差存在，多片并联优势是可以互相平衡补偿这个误差，这也是试听出来细节会变多的原因吧。还有一点就是做数据处理的时候，时基非常重要，单片插值法，对时基要求非常严格，需要有外部时钟来提供精确的时钟源，时钟源的精度，会直接影响声音效果，在设计、试验CPLD电路和程序时，放弃了外部时钟来做同步，直接利用数字接收芯片的MCK信号来做基准时钟，这样能最大限度降低DAC芯片和数字接收部分的时钟数据信号的时基同步误差，这样出来的声音会比较自然，保真性较好。这次制作是对分时并联的一种初步试验，虽然效果大家已肯定了,但缺点还是存在，比如声场比较紧、高频部分有点松散，在后续的改造中，会慢慢修正这些缺点，以期更好的效果。

◇作者简介

本人浙江金华人士，现寓居苏州，创梦电子工作室站长，电子技术应用专业毕业，个人非常喜欢电子，喜欢折腾新鲜玩意儿，设计过CDROM控制器、基于TDA1541的全平衡并联DAC、基于TDA1540音频DAC、8分时并联DAC等。兴趣是动力，创新是方向，做与众不同的设计是我的追求。

—参赛作品选登（三等奖）—

◎吴自文

超平衡耳放的设计与制作

全平衡放大器以其动态大、谐波小、频带宽、信噪比高、解析力强、输入阻抗高、输出阻抗低、直流稳定性好等诸多优点，被很多高档功放采用。然而平衡式放大器由于电路结构不同，效果也不尽相同。有些平衡式放大器，只是用两个独立的放大器将平衡信号各自放大，在输出端接成BTL形式，如图1所示。这种按照典型接法的反相或同相放大器，共模增益等于1，它将输入端共模电压送至输出端，不能有效的进行共模电压抑制，对于平衡信号因音量电位器的联动误差，或放大器特性差异所造成的信号不对称，也没有增进平衡对称的能力。

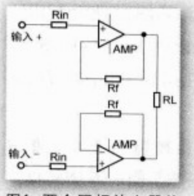


图1 两个同相放大器构成的平衡放大电路

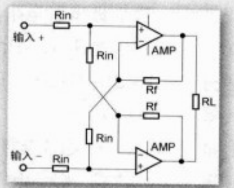


图2 两个减法器构成的平衡式放大电路

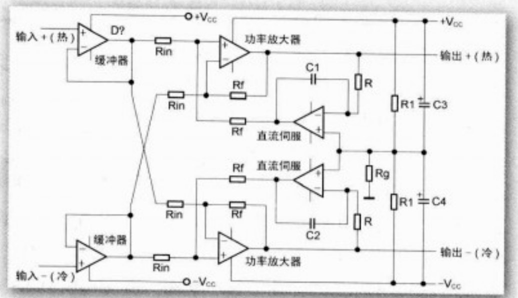


图3 超平衡电路原理图

图2所示的电路结构，可以均衡两个放大器的差异和音量电位器造成

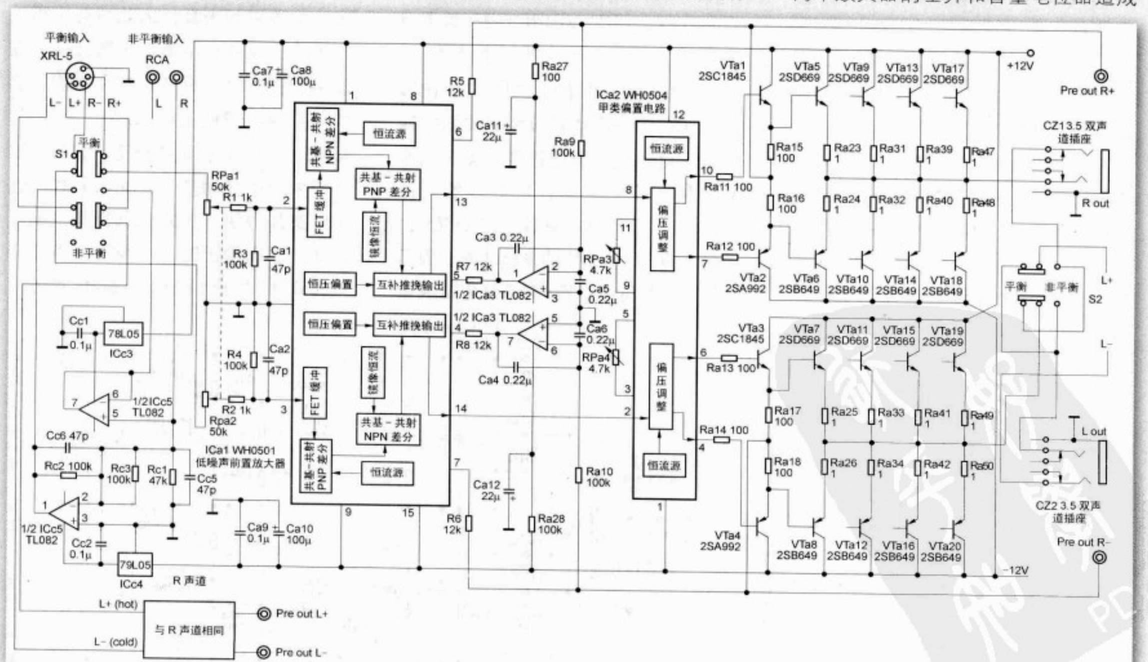


图4 超平衡耳放电路图

的信号不平衡问题。同时，由于它是由两个减法器构成，它的闭环共模抑制比等于开环共模抑制比，所以对共模电压的抑制能力很强。但是两个输出端的电位存在一起漂移的问题，要解决输出电位一起漂移的问题，一般采用在共模增益回路中加误差检测电路。所谓“超平衡”电路，就是在图2所示的电路基础上增加直流伺服电路，进一步检测出原器件造成的误差信号，将误差信号反馈到放大器的同相输入端，控制电路达到平衡，从而使放大器获得更好的性能，其实现方式如图3所示。它是由两个完全相同或互补的直流放大器和双直流伺服电路组成的。当电路处于“不平衡”状态时，Rg上必然产生误差电压，通过运算放大器检出后反馈到输入端，自动控制电路的平衡。

根据这个原理设计的超平衡耳放电路如图4所示。其中的ICa1(WH0501)是乾渊电子科技研究所开发的低噪声前置放大器厚膜组件（见本刊第4期100页广告），电路原理图如图5。第一级为缓冲级，采用FET晶体管组成共栅—共源电路，VT9、VT10为恒流源。VT5、VT6、VT7、VT8作互补推挽输出，这一级放大倍数等于1。第二级电压放大由VT11、VT12、VT15、VT16、VT13、VT14、VT17、VT18组成共基—共射互补差分电路，恒流源提供工作电流。第三级电压放大由VT23、VT24、VT27、VT28、VT25、VT26、VT29、VT30构成共基—共射互补差分电路，威尔逊镜像恒流源作负载。最后由VT37、VT38、VT39、VT40互补推挽输出。ICa2（WH0504）是甲类偏置电路模块，电路原理如图6所示。图中VT1、VT2、VT3、VT4组成恒压偏置电路，VT5、VT7、VT6、VT8为恒流源。

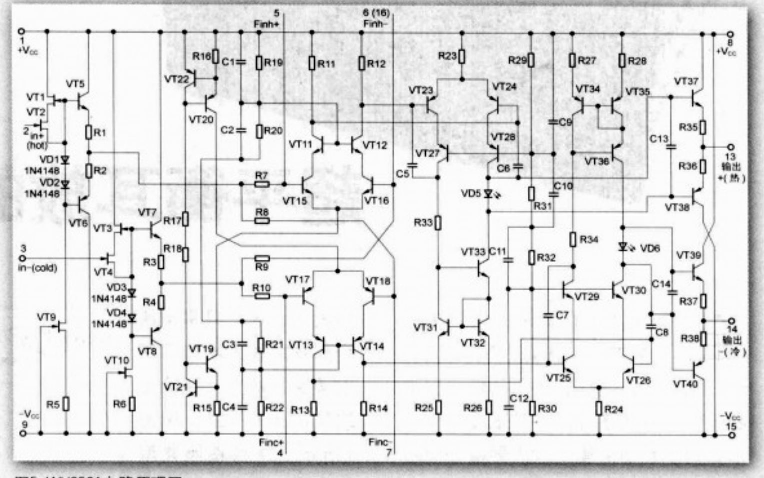


图5 WH0501电路原理图

ICa3担任双直流伺服，将输出端的误差信号反馈到放大器的同相输入端，自动控制电路达到平衡。电流放大采用了“多管轻负荷”的设计思想，由16只中功率管（2SD669、2SB649）负担1W的输出功率。因而线性佳，失真小。图4中末级电流放电管基极串联电阻为画图方便没画出，它们是Ra19~Ra22，Ra27~Ra30，Ra35~Ra38，Ra43~Ra46，$Ra=100\Omega$。

开关S1选择平衡输入或非平衡输入方式，ICc5担任非平衡—平衡转换。由于在输入端多了一块运放，自然会多一份噪声和失真，因此有些平衡式放大器不设置非平衡—平衡转换。在非平衡输入时，将信号从平衡输入端的“+”端（R+、L+）输入，将“−”端（R−、L−）接地或悬空。如有四刀三掷的小型拨动开关，输入方式的选择则更加方便。开关S2选择耳机输出方式，平衡输出时，一组立体声，两只3.5耳机插座分别是R声道和L声道。

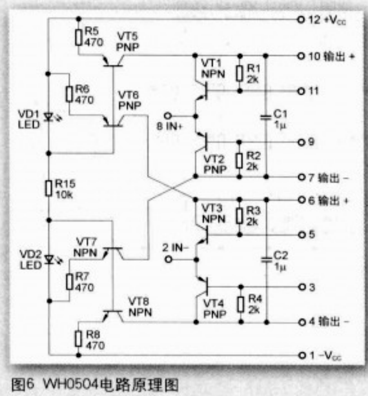


图6 WH0504电路原理图

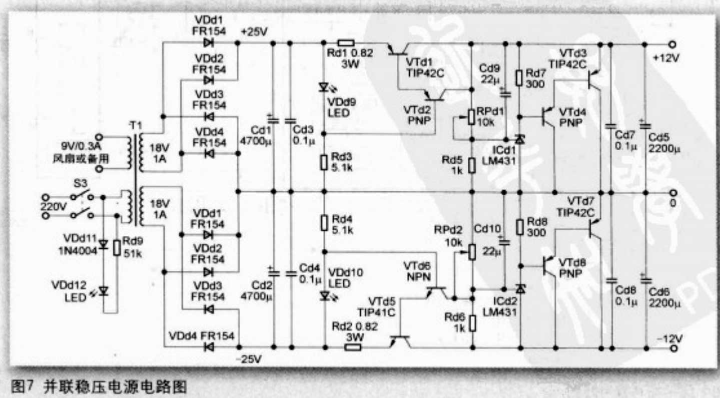


图7 并联稳压电源电路图

非平衡输出时，两只3.5耳机插座各为一组立体声通道，即可同时接两副立体声耳机。S1、S2安装在印制板上，一是它们的使用频率低，二是为了面板简洁好看。

前置输出从末级推动管取出，甩掉末级电流放大管，以求更好的信噪比。

50W环形变压器，次级输出双18V/1A,9V/0.5A(备用)。双桥高速整流，并联稳压由LM431担任。LM431是性能极好的并联稳压电源，但它的电流容量太小需要扩流。图7中的VTd4、VTd3和VTd7、VTd8组成复合管，担任扩流；VTd1、VTd2和VTd5、VTd6组成复合管，担任调压；Rd1、Rd2的作用，一是与VDd9、VDd10共同为VTd1、VTd2和VTd5、VTd6提供eb结工作电压，二是过流保护。当输出电流超过额定值时，Rd1、Rd2上的压降增大，使调整管V_{eb}压降减小、V_{ce}压降增大、输出电压降低，从而达到过流保护的目的。电源输出电流600mA，纹波小于2mV。

装配与调试

放大器印制板采用加厚双面环氧板，元件面大面积铺地，以达到屏蔽的目的。左右声道的电源分别独立引到板子的插座处，以供喜欢用两组独立电源的发烧友选用。电源板采用加厚单面环氧板。

从后面板输入插座到印制板的引线应选用双芯屏蔽线，屏蔽层一端接地。五芯插座“1”端的接地应独立引出，不要用屏蔽层两端接地代替。

末级电流放大管的配对误差要小，否则会影响输出端的“0”电位。

在装配中，按单元一部分一部分地焊接、调试：

1. 电源板焊完整流、滤波部分后，检查直流输出应在25V左右。焊完电源板全部元件后，将VTd1、VTd3，VTd5、VTd7和整个电源板在机壳内固定好，并注意4只管子与机壳的绝缘。由于并联电源在无负载时也仍然有很大的电流（额定值）流过这4只管子，在没装好散热器前绝不可通电。通电后，先观察两只发光二极管是否发亮，测试输出电压，调整RPd1、RPd2，输出电压应在几V到20V范围内变化。否则应检查焊接是否有误。接上20W18Ω负载电阻，调整RPd1、RPd2使输出电压达到±12V，正负应一致。加大输出电流，观察保护电路是否起作用，过早或过迟保护，调整Rd1、Rd2。

2. 主板先焊接平衡——非平衡转换部分，78L05、79L05在焊接前应配对，正负电压相差小于50mV。检查运放工作是否正常，有条件可在非平衡输入端加入正弦波信号，用双踪示波器在RPa1、RPa2的输入端观察，应是幅度相同、相位相反的两个信号。

3. 焊完主板的全部元件后，先断开末级功放管的基极串联电阻。测试ICa2的10、6脚对地电压应能在正1~2V变化，7、4脚对地电压应能在负1~2V变化，Ra15、Ra16和Ra17、Ra18的中点电压应小于5mV。调整RPa3、RPa4，使ICa2的10、7、6、4脚电压为±1.2V。将末级功放管的基极串联电阻焊好，测试功放管射极电阻上的压降，调整RPa3、RPa4，使功放管的电流达到你的设计要求。本机的每管射极电流为15mA。测试功放管输出端的对地电压应小于10mV，否则，应考虑功放管的对称性。

4. 开机一小时后，机壳温度达到热平衡，再重新调整功放管电流。

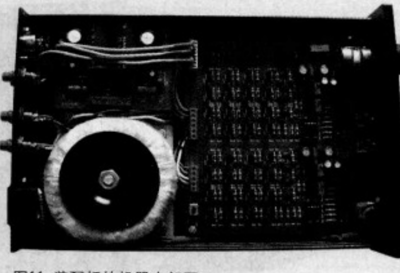


图11 装配好的机器内部图

5. 模块ICa1、电源功率管以及末级功放管等都有一定的温度，应做好通风和散热。机壳上盖板应开孔，最好在盖板上装一小风扇，将机箱内的热气抽出。

6.耳机的接线和平衡式输入插头的接线如图8~图10所示，装配好的耳放的内部结构如图11所示。

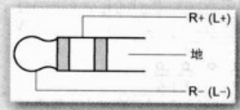


图8 平衡式耳机接线

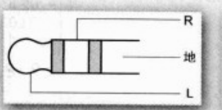


图9 非平衡式耳机接线

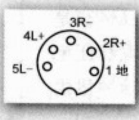


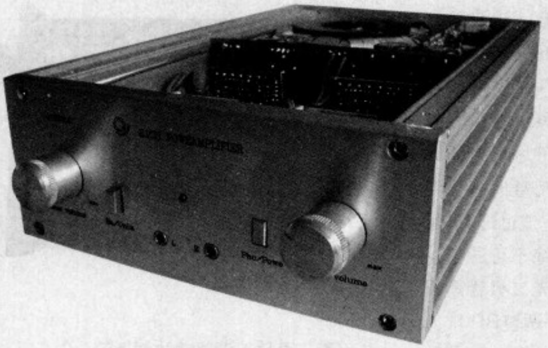
图10 平衡式输入插头接线

◇作者简介

70年代初我无意中发现了《无线电》杂志，是她引领我进入了“无线电”这个神奇的世界。后来我“如愿以偿”就读于兰州大学半导体物理专业，这才发现“半导体”非“无线电”，幸好它们是同宗。毕业后我从事了30多年半导体器件的研发和生产工作，电子DIY也伴随了我30多年。在兴趣爱好的驱动下，我制作过9英寸电视机、威廉逊放大器、714卫星接收机、音箱等。

几年前在音响DIY论坛中看到很多发烧友在仿金嗓子A-100功放。于是便萌发了开发一套发烧友能自己组装高档功放的组件的想法。这款超平衡耳放就是这套组件之一的“低噪声前置放大器”的应用之作。正好赶上《无线电》杂志举办2008年DIY设计&制作大赛，拿出来亮亮相，以求与广大爱好者共同探讨与学习。

—参赛作品选登（三等奖）—



平衡式2.1声道桌面功放的制作

◎吴自文

在互联网上有着源源不断的高质量音乐资源，吸引了众多的发烧友。一台高质量桌面功放自然成为电脑Hi-Fi不可缺少的外设。本机以Hi-End理念，低成本DIY一台高质量多媒体外置功放。

一 电路简述

信号输入部分电路如图1所示，S1是非平衡/平衡转换开关。平衡信号通过XLR-5接口→S1→CH10，非平衡信号通过RCA接口→ICc1、ICc2转换为平衡信号→S1→CH10。

功放主声道电路如图2所示（图中只画出一个声道）。输入信号通过音量电位器进入低噪声前置放大器ICa1（WH0501）放大后，经VTa1~VTa12推动管送入VTf1~VTf8作功率放大后输出。ICa2是甲类偏置电源（WH0504），为推动管提供基极偏压。ICa3是直流伺服电路，误差信号由ICa3检出后送入输入端，实现输出端的平衡控制。开关 S2 对耳机输出信号实现平衡/非平衡转换。平衡输出一组立体声信号，非平衡输出两组立体声信号。开关 S3 控制6只继电器，实现“耳机”与“扬声器”转换。在听耳机时关断末级功放管的基极输入信号和集电极工作电压，同时关断重低音电压，降低交流声和噪声对耳机输出信号的干扰。末级推动管是两级射随器构成的复合管，第二级射随器又由双管并联，以减小单管的工作电流，提高输出信号的线性，降低开关失真和交越失真。图2中的Rf1~Rf4将输入信号整合成单声道平衡信号，经电位器RPf1、RPf2送入重低音处理电路。

噪声前置放大器WH0501、甲类偏置电路WH0504是乾渊电子科技研究所研发的混合电路模块。感兴趣的读者请参见本刊100页广告。

图3所示的是重低音声道原理图，TL084担任有源低通滤波，这是两组完全相同的二阶低通滤波电路，其转折频率在200Hz处，经Rd27、Rd28输出，放大倍数约2倍。功率放大由LM1875担任，这是LM1875的典型应用线路，在此不多赘述。若将一组低通滤波的输入和输出短接，则可作为中置声道用，当然，输出功率也相应减小一半。

电源电路如图4所示，其中并联稳压由LM431担任。LM431是性能极好的并联稳压电源，但它的电流容量太小，需要扩流。VTe4、VTe3和VTe8、VTe7组成复合管起扩流作用。VTe1、VTe2和VTe5、VTe6组成复合管起调压作用。Re1、Re2的作用有两个：一是与VDe9、VDe10共同为VTe1、VTe2和VTe5、VTe6提供be结的工作电压，二是过流保护。当输出电流超过额定值时，Re1、Re2上的压降增大，调整管的be结上的压降减小，ce结上的压降增大，则输出电压降低，从而达到过流保护的目的。电源输出电流为500mA，纹波小于2mV。经78L05、79L05二次稳压的 ±5V 电

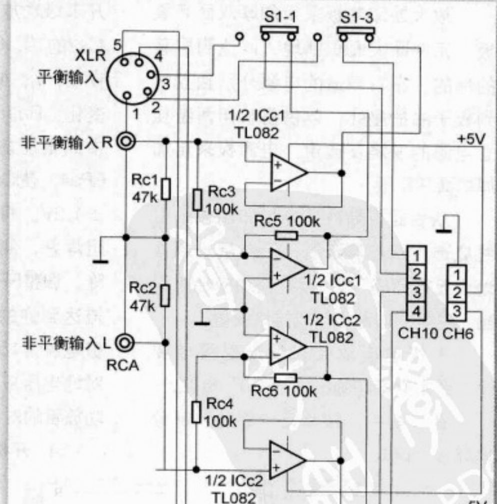


图1 信号输入部分电路

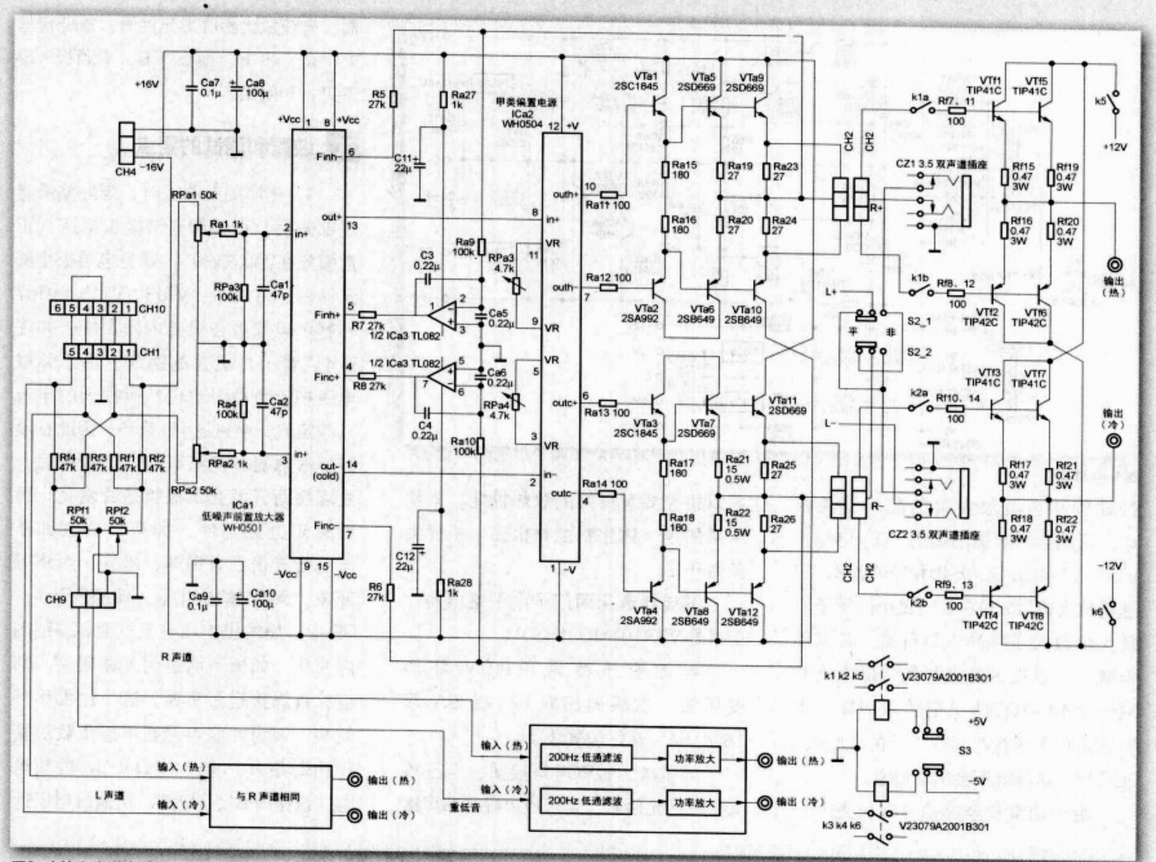


图2 功放主声道电路

源为平衡/非平衡转换运放提供工作电压。末级功放管工作电压是通过VDe5~VDe8整流、Ce9和Ce10滤波后提供。7805、7905稳压后为继电器和风扇提供工作电压。

二 装配与调试

电压放大和电流放大部分的印制板采用75μm加厚双面环氧板，重低音和电源部分采用75μm加厚单面环氧板。接插件CH9、CH10的引线选用双芯屏蔽线，屏蔽层一端接地。XLR-5“1”端接地线应独立引出，不要用屏蔽层两端接地代替。元器件不必强求“补品”，但要货真价实。本机的电阻全部采用金属膜电阻，滤波和退耦用ELNA（伊娜）电解电容。

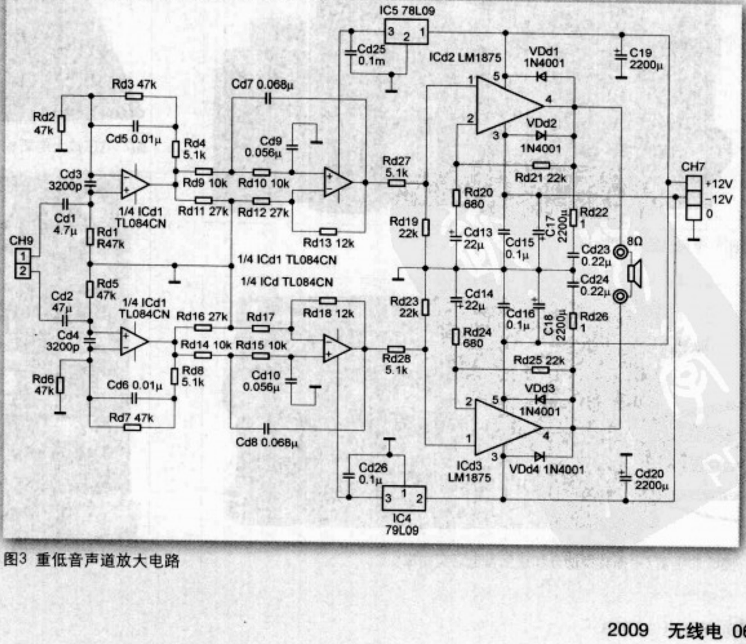


图3 重低音声道放大电路

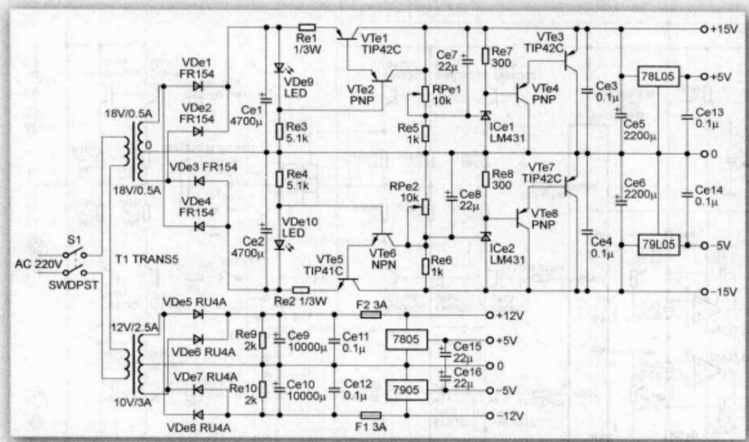


图4 电源电路

推动管和电流放大管的配对误差要小，否则会影响输出端的“0”电位。VTa1~VTa4即2SC1845和2SA992，应选用放大倍数200左右或更小的管子，放大倍数大了容易引起自激。若发现自激，可以在其基极和集电极之间并联一个47~100pF小电容来消振，也可选用放大倍数为100~150的3DG4、3CG14，这样就不会出现自激。

由于功率管全部安装在机壳上，所以机壳要有良好的散热性能。本机采用的是一体化铝型材机壳，机壳上盖需开孔。

继电器选用西门子小型继电器，型号是V23079A1001B301。

电源变压器采用80W环形变压器，次级输出双12V/2.5A,双18V/0.5A，最好加屏蔽罩。

电压放大板PCB焊接面、电压放大板PCB元件面、电流放大板PCB焊接面、电流放大板PCB元件面、重低音与非平衡—平衡转换板PCB、电源板PCB请见本刊网站。

三 装配和调试的要点

1. 在焊接电源板时，焊好整流滤波部分后，可检查直流输出电压（正常值应在25V左右）。焊完电源板全部元件后，将VTe1、VTe3，VTe5、VTe7和整个电源板在机壳内固定好，并注意4只管子与机壳的绝缘。由于并联电源在无负载时也仍然有很大的电流（额定值）流过这4只管子，因此在没装好散热器前绝不可通电。通电后，先观察两只发光二极管是否发亮，再看有无过热元件，如有，应立即断电，检查是否有错焊、虚焊、短路等现象。测试输出电压，调整RPe1、RPe2，使输出电压在几伏到20V范围内变化，如果不能达到上述要求，则应检查焊接是否有误。这个过程尽可能快，因为并联电源在不接负载时管耗功率最大。接上24Ω/20W负载电阻，调整RPe1、RPe2，使输出电压达

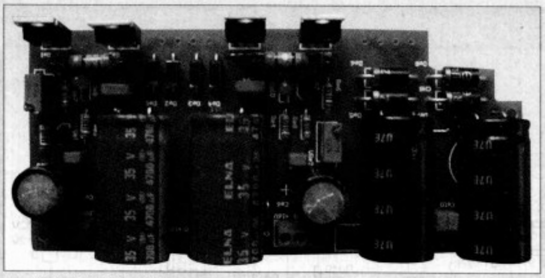


图5 电源电路的实物板

图6 非平衡/平衡转换部分和重低音电路实物板

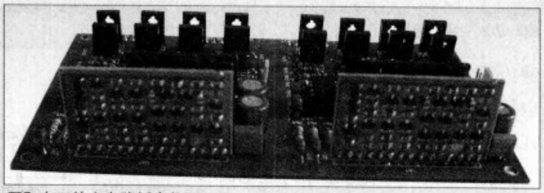


图7 电压放大电路板实物图

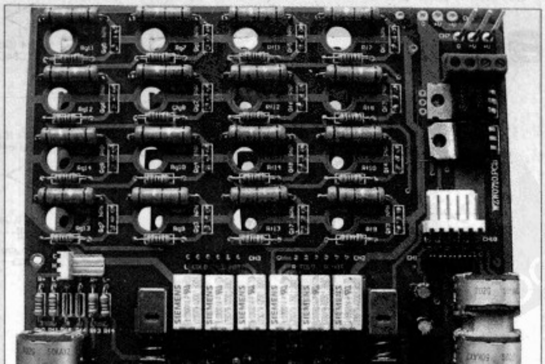


图8 电流放大电路板实物图

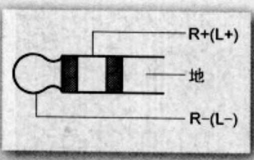


图9 平衡式耳机接线

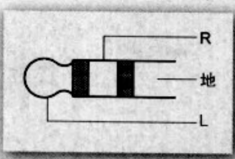


图10 非平衡耳机接线

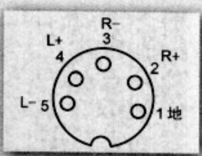


图11 平衡式输入插头接线

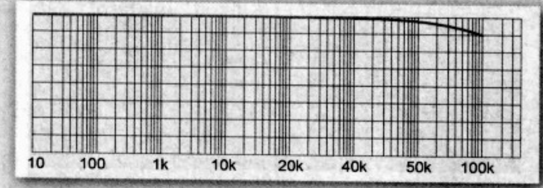


图12 主声道0～100kHz幅频特性

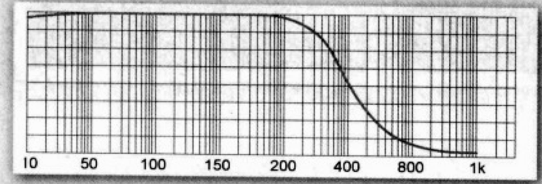


图13 重低音0～1kHz幅频特性

到±15V，此时正负电压相差应小于50mV。加大输出电流，观察保护电路是否起作用，是否出现过早或过迟保护，如果出现异常，则应调整Re1、Re2。78L05、79L05在焊接前应先测试配对，正负电压相差小于50mV。焊好的电源电路的实物板如图5所示。

2. 非平衡/平衡转换部分和重低音电路在同一块印制板上，焊接完后先检查运放工作是否正常。有条件可在非平衡输入端输入正弦波信号，用双踪示波器在CH10插件的对应位置观察，应是幅度相同相位相反的两个信号。焊好的电路板实物如图6所示。

3. 焊好电压放大板的全部元件，检查焊接无误后通电， 先测试ICa2的10、6脚电压（正常时为正）及7、4脚电压（正常时为负）；再调整RPa3、RPa4，使ICa2的10、7、6、4脚电压在1~2.5V间变化（可在Ra11、Ra12、Ra13、Ra14的焊点处测量）。最后将各脚电压调整到1.8V。测试Ra23、Ra24和Ra25、Ra26的中点电压应小于5mV。焊好的电压放大电路板实物如图7所示。

4. 焊接电流放大板时，要保证16只功放管在同一平面上，以便与机壳底板固定散热。管子散热面与印制板距离约11mm。焊完全部元件，检查无误后通电。测试7805、7905输出电压是否正常，继电器是否正常吸合。之后，将功放管固定在机壳底板上，认真做好并逐一检查功放管与机壳的绝缘性能。焊好的电流电路板实物如图8所示。

5. 将接插件按编号对应接好，把电压放大板安装在电流放大板上，插针对准相应位置，以免折断，小心压紧。

6. 通电重复电压放大板的测试步骤。由于功放管集电极电流测试不方便，可测试Rf15~Rf22上的压降，估算功放管电流，调整RPa3、RPa4，使Rf15~Rf22上的压降为0.7~0.72V，功放管电流为150~200mA。每只电阻上的压降不一定完全相等，这是正常的。这是由三极管be结正向特性的差异所致。

7. 测试输出端对地电压，正常时应小于20mV，否则，应考虑功放管的对称性。由于NPN管和PNP管的h_{FE}难以挑选一致，所以在挑选时可以用VTa9与VTf1放大倍数的乘积＝VTa10与VTf2放大倍数的乘积，VTa11与VTf3放大倍数的乘积＝VTa12与VTf4放大倍数的乘积的方法来挑选，两只并联管的放大倍数要一致。

8. 开机一小时后，机壳温度达到热平衡，再重复6、7的测试和调整。

9. 重低音板焊完后，在LM1875上安装临时散热片，接±12V电压，从CH9输入20~1000Hz正弦波信号，在输出端观察低通滤波情况。若改变转折频率，可改变Rd9、Rd10和Rd14、Rd15的阻值。若调整Q值，可改变Rd4、Rd8以及Rd11、Rd18的阻值。

10. 将重低音板固定在机壳底板上，严格检查LM1875与机壳的绝缘。连接好所有接插件和输入、输出端引线。OK！你可以试听了。

主要发热元件都是直接安装在机壳底板上。甲类电源、甲类输出的发热是“惊人”的，在室温25℃以下，机壳温度达到60℃左右。由于机箱空间有限，一小风扇装在盖板上，将机箱内的热气抽出。

非平衡信号通过ICc1、ICc2的转换，会使输出信号的噪声增大。为降低噪声，可以不用转换。通过S1将非平衡信号的R（L）端接入平衡输入端R+（L+），平衡输入端R-（L-）端接地。

平衡式耳机接线如图9所示，非平衡式耳机接线如图10所示，平衡式输入插头接线如图11所示。

主声道0~100kHz幅频特性如图12所示，输入400mVpp，输出2Vpp/每格，50kHz处−0.3dB，100kHz处−1.3dB。重低音0~1kHz幅频特性如图13所示，拐点在200Hz处，1kHz处−30dB。

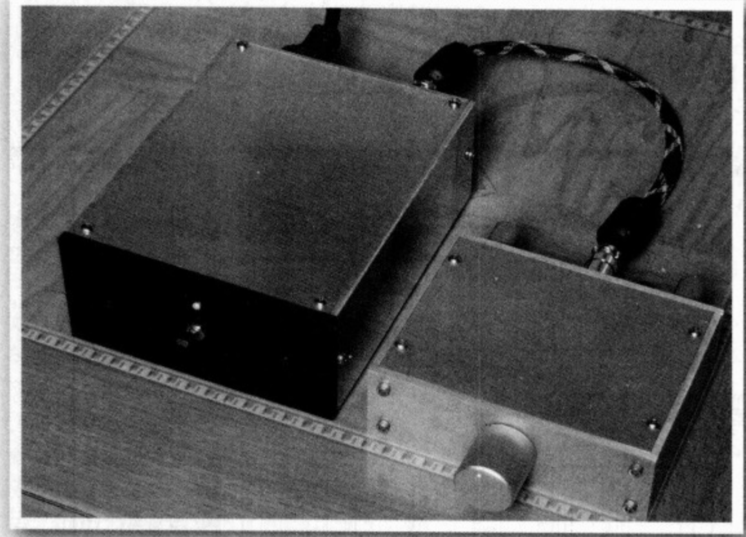
四 试听感受

硬件连接：AUDIOPHILE 192声卡，惠威书架音响。试听龚玥《民歌红》、黑鸭子《俄罗斯名曲》、付娜的古筝《禅院钟声》等，感觉低音扎实丰厚、干净利落；高音纤细、细节分明；中音表现丰富，清澈透明、自然舒畅。声场稳定。

—参赛作品选登（四等奖）—

我依然爱你——1875

◎夏盛



第一次认识1875（LM1875）大约是在十年前了，当时是在一本电子杂志上看到有关介绍1875的文章，该文使我对这片芯片产生了浓厚的兴趣，于是萌发了DIY的念头，马上买来两片1875，PCB是用手术刀在覆铜板上刻出来的。那时候我还不知如何使用洞洞板，把手都刻麻了，不过刻出来的PCB还算工整。元器件也是从一些废电路板上拆下来的，也不知道对元器件有什么要求，反正只要看到参数相同的就拆，滤波电容用的是两只很普通的4700μF电容，就这样七拼八凑，第一台功放做好了，装在了一个不太考究的盒子里，看起来很不起眼，可是试听以后却让人大吃一惊，就这么两片小小的芯片居然能产生这么好听的声音，当时的心情就别说有多激动了。音源用的是SONY的随身听，音箱是自制的，也不懂装什么扬声器好，只是跟着别人买的。在此后的七八年里这个功放一直伴随着我，听音乐、玩PS、看碟都用它，直到后来买了台JVC的组合，才把这个功放替换下来。当年的那台功放已全部拆掉了，只留下了两片1875，直到现在我对这两片芯片还心存一份特殊的感情。

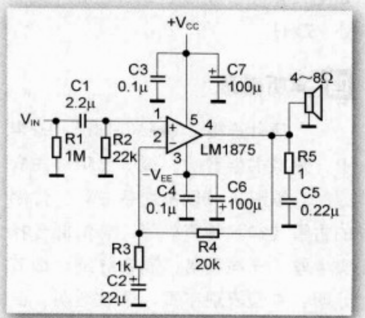


图1 电路图

后来通过互联网结识了很多音响发烧友，学到了很多新的知识，我的心也随之萌动起来，玩过几块板子，先后也做了几台功放，唯独还没有做过一台像样的1875功放。看看手里留下的两片1875，想想当年做的功放，那优美的乐声仿佛又在耳边环绕，于是酝酿着做一台MINI、外形漂亮的功放。

对于很多音响发烧友来说用1875搭建功放已经是再熟悉不过了，但对于我这只“菜鸟”来说，不仅是一个了却心愿的事情，更重要的是一个学习的过程。我不敢在大家面前班门弄斧，只是简单地说说自己的制作过程。

功放的原理如图1所示，电路板采用的是洞洞板，如图2所示。板子在去年就做好了，经过测试还是很不错的，主要问题就是要解决机箱的制作。前段时间，找到了一点较好的拉丝铝板，厚度为3mm。与其说是铝板，不如说是边角料，不过材质非常好，是进口设备上的，表面有些污渍，清洗了之后还不错。计算了一下尺寸，基本上够做一个机箱的，于是就开始动手做机箱了。设计的机箱比板子稍微大一点点，考虑到散热问题，还拿了一块和底板差不多大小的铝板来测试，通电1小时左右，温度大概在50℃，所以散热应该是没问题了。机箱采用六面拼接，里面用了一块有机玻璃作为固定铝板用，四周上螺丝，所有螺丝都是不锈钢的，底板和后板所有螺丝全部沉孔，没有突出的，就连固定PCB和1875的螺丝都全部采用隐形，没有突出来，其内部结构如图3所示。面板和盖板采用内六角螺丝，旋钮为全铝磨砂

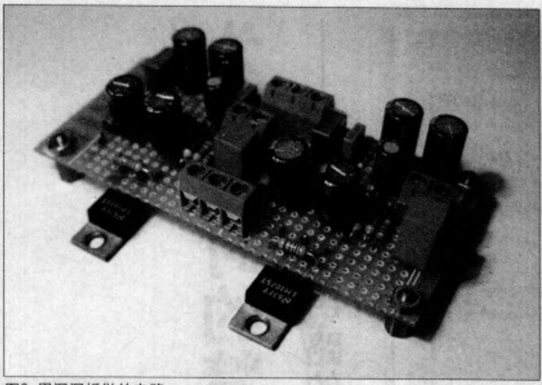


图2 用洞洞板做的电路

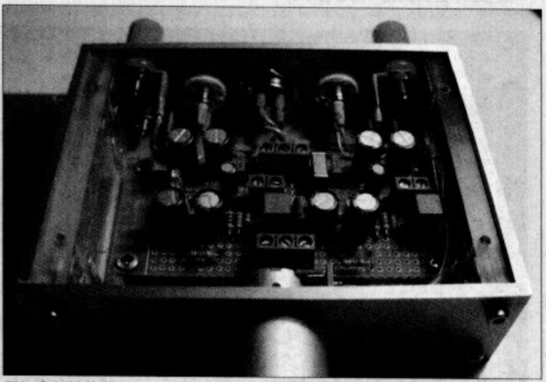


图3 内部结构图

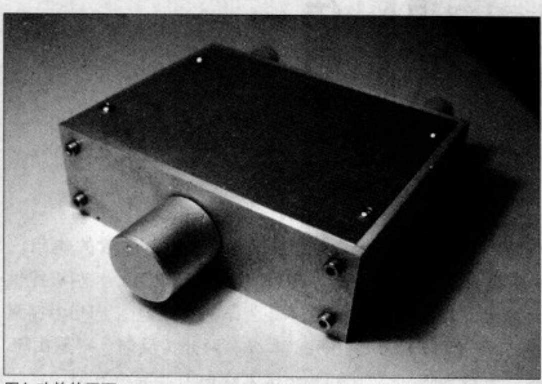


图4 功放的正面

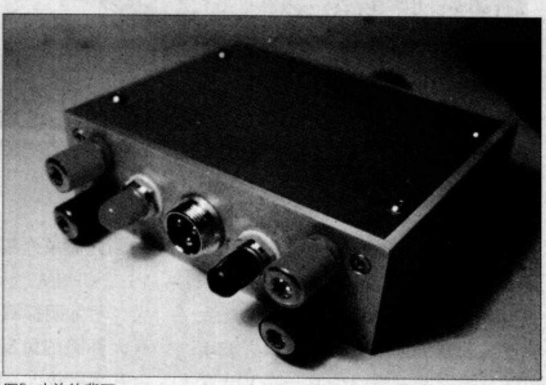
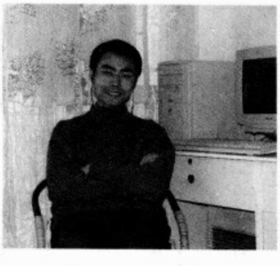


图5 功放的背面

的，外形如图4、图5所示。这可全是我用锉刀和砂纸加工出来的呀！这个机箱是我做过的最为满意的一个。整个机箱尺寸为：118mm×86mm×36mm，自认为制作工艺比较精良，不夸张地说可与数控加工媲美。

下面谈一下试听效果，该款功放的声音细腻，解析力很好，低频量感足，与LM4780比起来显得温暖些，在小音量情况下，声音的细节也表现得很不错，不浑浊，唯一不足的就是功率小了点，但是放在卧室里用来欣赏音乐还是够用的。该功放将音量开到最大，耳朵贴在箱子上也听不到一点儿噪声，中点控制在4mV左右，电路用的是1875的标准电路。电源用的是分体电源箱，±28V左右。

这两片1875就是从十几年前做的功放板上拆的，今天再次有出色的表现，没有枉费我的一番心血。还是那句话：我依然爱你——1875。



◇作者简介

本人在医院从事医疗设备维护工作，喜欢听音乐、旅游、摄影等。小时候喜欢拆卸家里的闹钟、玩具、小电机之类的东西。在中学时代喜欢上流行音乐，曾制作过一些简单的小电路、充电器等。工作以后，正是“爱华”音响流行的年代，那时能够拥有一套这样的组合音响就是我的梦想，可是对于我这个穷小子来说简直就是奢侈品，后来在一本电子杂志上看到音响制作，才知道原来音响器材是可以DIY的，我的音响DIY之路从此开始了。

第一次DIY的是国半公司的LM1875，后来通过网络知道了HIFIDIY这个论坛，结识了很多音响DIY发烧友，我这个菜鸟在这里也学到了很多新的东西。这次参赛的作品也是在参考了论坛的一些制作的基础上，再结合自己的一些设计思想制作出来的。电路虽然简单，但包含了我很多的心血。做好每一个细节，力求完美，这就是一个音响DIY爱好者的追求。参加这次的大赛，对自己来说是一个提高，也是一次挑战，有幸获奖，要感谢支持和帮助过我的朋友们。

—参赛作品选登（四等奖）—

为圆孩时的梦

——JADIS经典电路的仿制

◎天鸿

红灯牌电子管收音机在老一辈人里并不陌生，我清楚记得已故的爷爷也曾有一台。一次偶然的机会让我发现这收音机里居然藏着几只“玻璃泡”，强烈的好奇心使我一次又一次偷偷地把它拆开来“研究”，最后有只“玻璃泡”不亮了，这才结束了它的使命。正因如此，做一台用“玻璃泡”的机器就成了我心中的梦想，那一年的我应该是八九岁！

上初中后我完成了第一台矿石收音机，从那之后便一发不可收拾了。遗憾的是在我制作的所有机器里没有一台是“胆机”，其实这缺的不是什么材料，缺的就是勇气。没办法，个人性格问题啦！但当我与朋友合制6SN7“胆前”后，那“玻璃泡”里流淌出来的声音终于汇聚成勇气，我要在2008年实现我的梦想！

一 电路设计及制作

因家里已有一台PASS ZEN4，因此，把目标就定为“胆前”吧，左思右想之后最终选择JADIS JP200电路。

先简单介绍主放电路的特点（图1）。JP200为全并联两级共阴极放大，附加阴极跟随器为输出，并施加有大环路的负反馈。输入级（VT1）为共阴极放大，R1为输入衰减电阻，同时还起着防止高频自激的作用。R7、R8串联是阴极电阻，为阴极提供偏压，R2为阳极负载电阻，R9为栅漏电阻。本级有两处负反馈：一是由R6和R8组成本级电流并联负反馈，目的

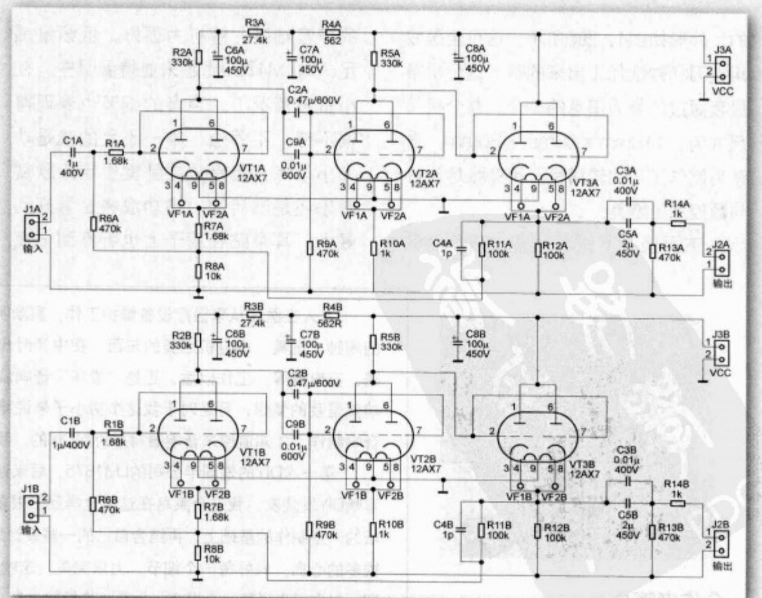


图1 电路图

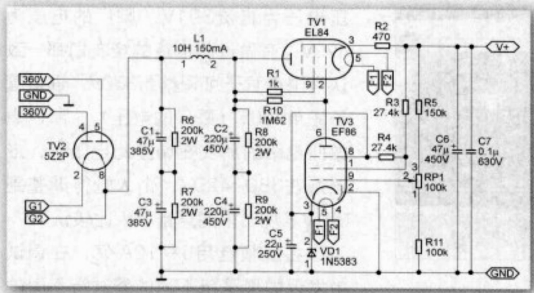


图2

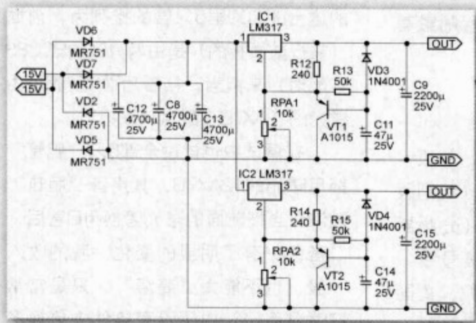


图3

是防止大动态信号时的输入级过载；二是由R7和R8组成本级电流串联负反馈，目的是稳定工作点，降低本级开环增益、拓展频宽，本级增益约为30。放大级（VT2）也为共阴极放大。R5为阳极负载电阻，R10为阴极电阻，为阴极提供偏压，同时也组成本级电流串联负反馈，以稳定工作点、拓展频宽，本级增益约为70。缓冲级（VT3）为共阳极放大(阴极跟随器)，R12为阴极电阻，为阴极提供偏压，同时组成本级100%的电压串联负反馈，降低本级的输出阻抗，提高带负载能力。R13、R14为负载，并为输出级提供良好的匹配。本级增益约为0.9。缓冲级向输入级施加有大环路的负反馈，反馈量约为45dB。R11为负反馈电阻，C4为超前补偿电容。通过施加深度大环路的负反馈将整个前级放大器的增益确定为11左右。

该机的高压部分（图2）、灯丝部分（图3）的电路不复杂，在此就不作详细介绍了，完成电源板（图4）与主放板（图5）的元件装配只用了1个小时，所用的元器件都是常见的元器件。接上电源变压器、电子管，看着灯泡慢慢红起来，响了！哈哈，做好啦！

我的梦想就这样实现了？不！既然是梦想，我要让它更完美。清点一下手上的零件，原来自己还有不少发烧件，来，让这电路也“烧”一把！

第一步：先从电源板的灯丝整流滤波入手，灯丝整流由手榴弹换成德律风根的整流子，滤波电容由JANTZEN电解电容换成建伍FOR AUDIO电解电容（图6）。

第二步：再来修改高压供电部分，5Z2P整流不变，滤波电容由BC电解电容换成了尼康的品牌，后来又找到一些飞利浦蓝六解电容（220μF/385V）。不求声音表现有多少变化，只求电容器的参数更加优秀，为这台前级打做一个强大且优秀的电源“发动机”！其他元器件不变（第二版电源板见图7、图8）。

电源板已改进好了，下面该考虑主放板的改进啦，有朋友建议换“胆管”试试，于是把曙光管换成德根的。耦合电容的优劣对声音的影响是明显的，喜欢尝新的我找到两对自

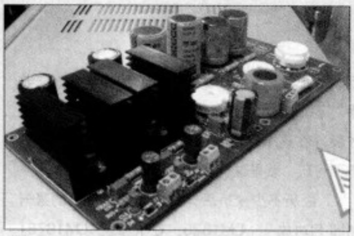


图4

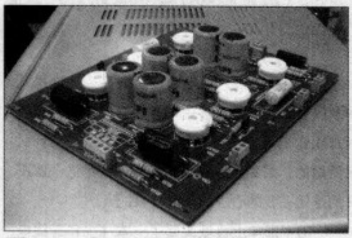


图5

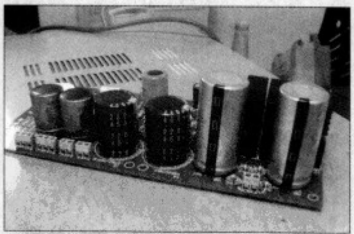


图6

图7

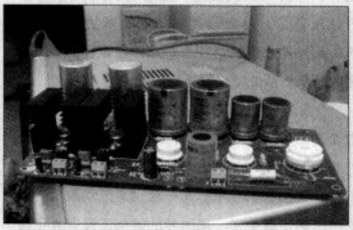


图8

图9

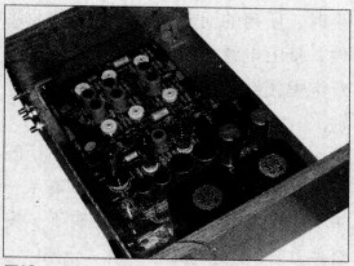


图10

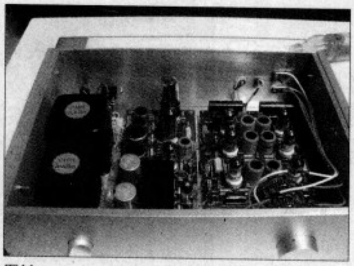


图11

己没有用过的电容——德国产的电容GAD(图9)，当然还要价位是本人可以接受的，其他的不变。

二 复古的家

机箱我想做成复古味的，怎样复古？说来见笑，我的思路很简单：两边侧板用上木板就是复古了，除了两边侧板为稠木外，其他面板都是铝合金板。

第一步：手钻开孔，一把手钻走天涯，但结果是累得半死！第二步：打磨铝板，方法很土，用洗洁精加不同标号的进口砂纸。第三步，对面板进行喷漆，本人选用了金属闪光自动喷漆！在阳光底下进行多次喷涂，目的是让漆面更硬、更均匀。

家，要的就是感觉，住着就是舒服！我这台“前级”的“家”同样要的就是这种感觉（图10、图11），我的“前级”将要在这里为我吟唱最美妙的歌声！

三 试听

音源：飞利浦950CD机，前级：JP200，后级：PASS ZEN4（特别改良版），音箱：仿贵族2.5（分频器为6.0版本，搭棚制作），信号线：AQ线圣SIDEWINDER角响尾蛇、美国超时空TARALABS P3，前级电源线：英国LINN（莲）K800，后级电源线：Monster(魔声)PowerLine200，听音环境：自家客厅（5.6m×5.6m），音箱摆放情况：两箱距3.2m，墙距30mm。

经过一段时间的试听后觉得高、中、低频都非常平衡，这是本机的优点，灯丝电压为直流12.6V，这是一定的（对于12AX7电子管而言），高压电压为直流391V，原厂的电压为420V，有做过此电路的烧友们都一致认为国产管子可调整到380V，进口管子还用420V（原厂的电压），所以想做此电路的朋友在调整此电压时，应该选在380~420V，个人觉得调整到391V表现出来的声音个人比较认可！

主放板选用6只12AX7，在调试中发现如果采用不同的管进行不同的排列组合，声音会有不同效果。本人的这台JP200里6只管的排列为：前面（靠近前面板的）是由两只日 的ECC83（配对）来担当，接着后面4只管是由曙光的12AX7B（配对）来担当！

在调试中也试过全部6只“胆管”都用曙光的12AX7B，其声音“胆味”过浓，当把前面的曙光管换为日管后，“音色”有了明显的变化。我的收入一般，也不能太“高烧”，只是常常打喷嚏而已！由于没有条件去更换多只管子来试听，所以在此无法做过多的评论，但有一点是可以肯定的：不同的输出、输入电容的区别还是相当明显的！由于“胆管”还没有“老化”，只能等“胆管”煲透后再作更深入的调音。希望做过此电路的朋友们来分享不同管子的表现。

我的DIY历程

◇作者简介

“中央人民广播电台，短波……”这是儿时从收音机里听得最多、印象最深的声音。那时对那收音机更是充满好奇，这机器到底是用什么东西做的，居然可以收到声音呢？就是这个解不开的谜团在我的心里埋下DIY的种子！

10岁那年上县城买回了一本《少年无线电制作》，然后又买回第一把电烙铁，DIY的种子开始发芽了。从自己照书仿制的来复再生收音机、超外差收音机到12岁那年自己设计的集成电路收音机，从此便一发不可收拾。

我清楚记得第一个转折点是小学毕业的那个暑假，我去常买元件的地方看到一块大大的牌子，上面写着“傻瓜175”，老板以“熟人价”10元出售给我了。第一台“傻瓜功放”就在这种机遇下诞生了！那时我的热情还没有真正转到功放那里。在初中的三年里，因为学业而“收手”了，成功考上师范后，我又重拾DIY，我这才发现在这个DIY世界里居然还有那么多美好的东西可玩，就是这样我正式开始功放的制作。

经历不少挫折后，我成功拥有自己的第一台Hi-Fi功放——LM1875。在卡带机+LM1875+飞乐的组合下，我终于体会到声音原来是可以这样悦耳、这样动听的。这时我又因学业而离开了DIY，2002年大学毕业后继续追求自己的爱好。

LM3886、LM4780、金嗓子、PASS一路玩来，时光就这样过了6年，晶体管越玩多了越发觉它的不足，第二个转折点在2008年完成仿Jadis JP200前级后，我发现电子管更令人着迷，更令人向往，最终我投入到DIY电子管功放的怀抱。

DTS解码&卡拉OK混响前级的设计与制作

◎杨盛东

随着数字电视的普及，我们已经能很容易的享受到高清视频画面，但很多影音播放器都只带有数字音频输出端口，需要外接数字音频解码器才能享受到环绕立体声的效果。本人为此设计一款具有DTS数字音频解码和立体声卡拉OK混响功能的前级解码控制器。

一 系统介绍

本解码器前级系统整体结构框图如图1所示。它具有DTS、AC-3解码、卡拉OK混响、电子音量控制、后级待机控制等功能，具有四路数字音频输入、一路立体声模拟音频输入、六声道模拟音频输出端口，采用脉冲编码电位器、按键和遥控器输入用户指令，192×64点阵LCD工作状态显示。

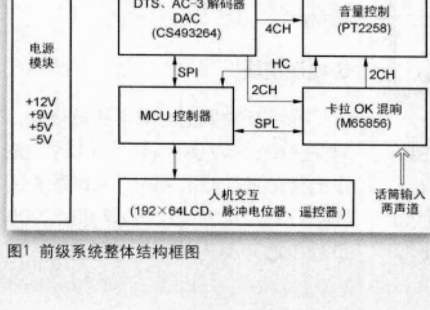


图1 前级系统整体结构框图

二 电子硬件设计

1. DTS解码

DTS解码采用Crystal的CS493264芯片，由于芯片及相关元器件较难购买到，因此这个模块没有完全自己制作，而是直接购买了市场上相兼容的DTS解码板，在此基础上进行二次开发。此解码板具有四通道数字音频输入、六声道模拟音频输出接口，与MCU间采用三线串行通信方式进行指令和数据的传输。

2. 卡拉OK混响模块

卡拉OK混响模块采用了三菱公司的M65856SP双声道数字混响芯片，具体电路如图2a所示，做好的模块如图2b所示。它内嵌有ALC话放，具有原声自动辅助功能，话筒音量可独立调节，与MCU之间采用三线串行传输方式。 在这个模块中添加了2选1的通道选择电路，可用于选择外部模拟输入或者是DTS解码输出的信号，原理图中部分耦合电容是为了将来兼容不同的模块，本制作中有些电容不需要安装。

3. 电子音量控制模块

本机具有六通道模拟音频输出，如果使用传统的模拟音量电位器，在控制过程以及一致性方面都存在很多不便，所以这里使用了普诚公司的PT2258 六通道数字电平衰减芯片，电路原理图如图3所示。它采用I^2C串行控制，没有机械触点，长期使用也不会出现氧化、噪声等问题。

4. MCU控制板

MCU主控芯片使用通用51单片

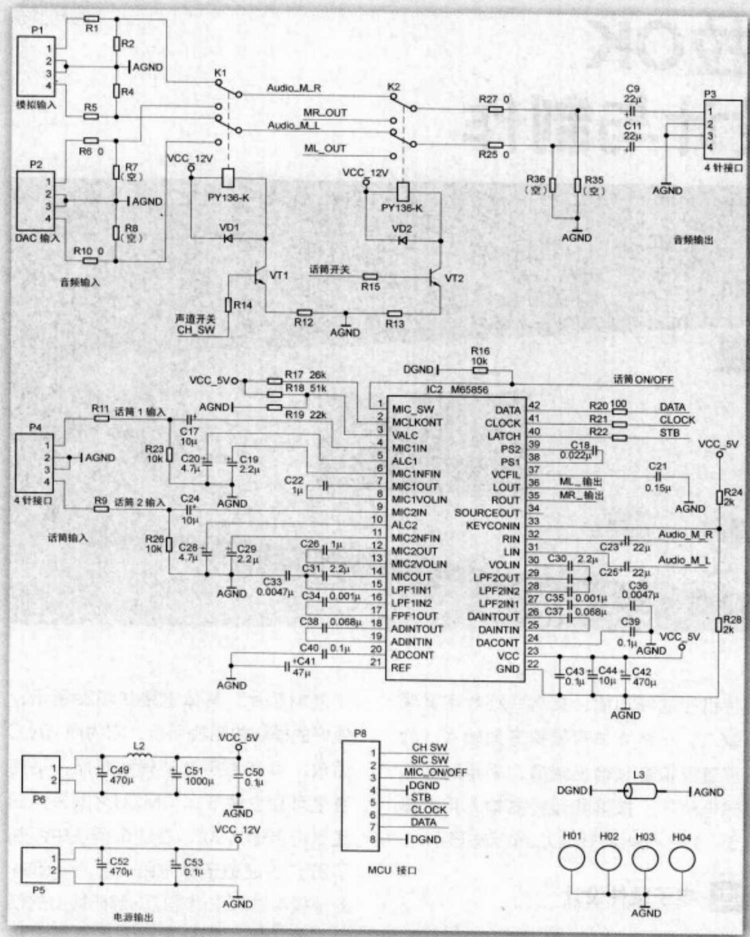


图2a 卡拉OK混响模块电路图

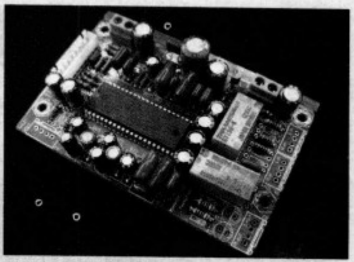


图2b karaOK模块实物

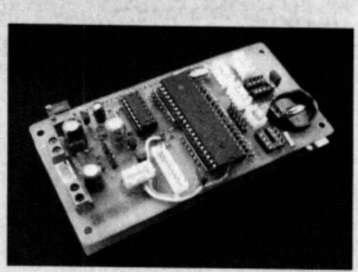


图4b MCU控制模块实物

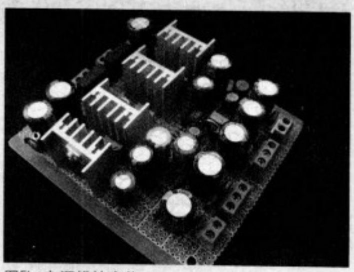


图5b 电源模块实物

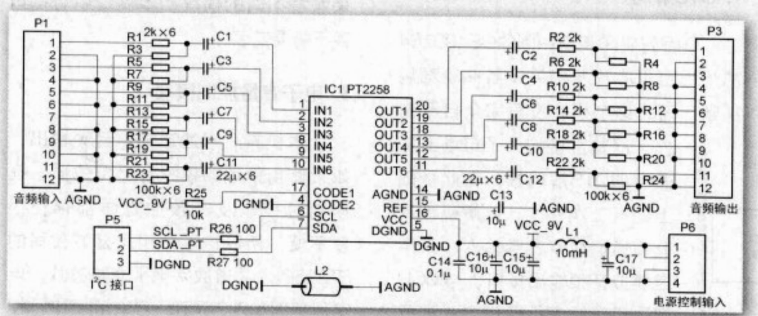


图3 电子音量控制模块电路

机，因为程序代码复杂，需要选用片内程序存储器容量比较大的芯片，在此选用了STC89C516单片机，它支持ISP在线编程功能，调试方便。

本系统需要控制的模块有：DTS解码板（三线串行）、卡拉OK模块（三线串行）、音量控制（I²C）、LCD屏（串转并）、按键（并行）、后级待机和灯光控制（并行），其中LCD本身的设计是并行数据接口。由于单片机IO口数量限制，这里加入了74LS164进行串转并行设计，节省了4个I/O口。控制模块中还加入了DS1302时钟芯片和EEPROM存储器，用于获取实时时钟和保存用户设置信息。这部分电路原理如图4a所示，做好的电路模块如图4b所示。

5. 电源模块

系统所需要的电源电压规格有：+5V_A/D、-5V_A、+9V、+12V，鉴于元件的通用性，+5V、+9V是通过LM317稳压得到的，-5V是通过7905负稳压芯片得到的，+12是通过+5V

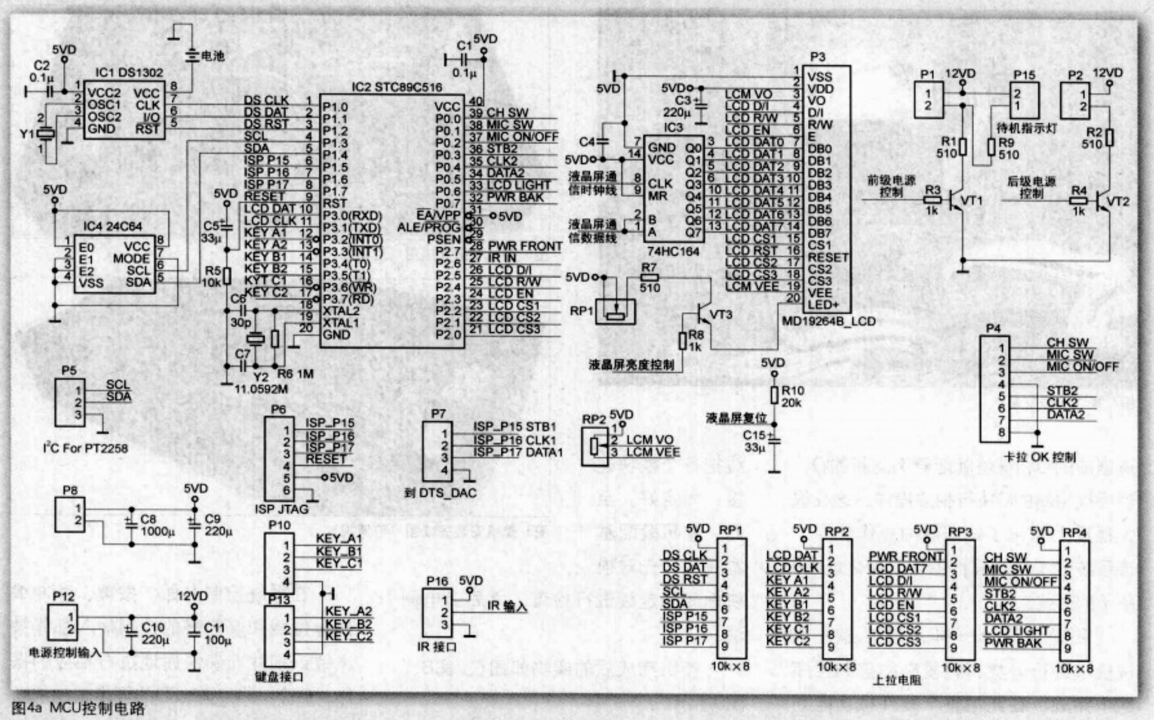


图4a MCU控制电路

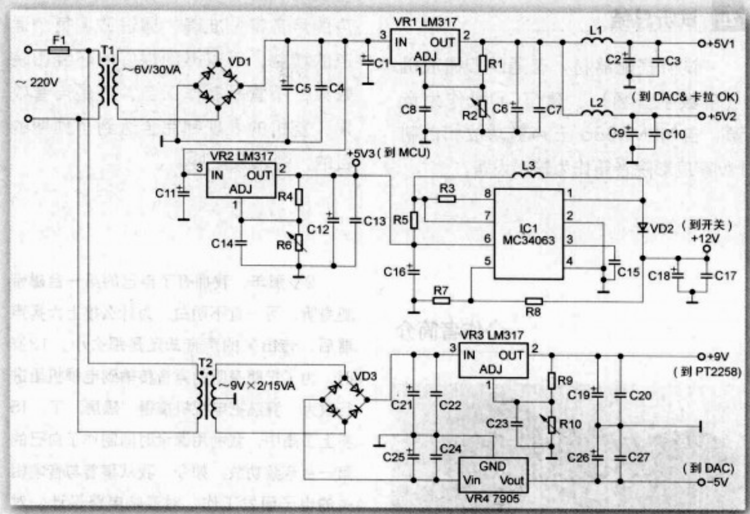


图5a 电源模块

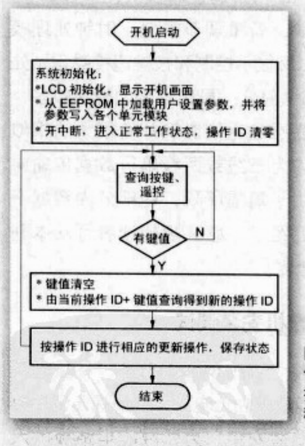


图6 操作系统控制流程图

的DC~DC升压电路获取的，它用于驱动继电器开关，这部分电路如图5a所示，做好的电路模块如图5b所示。由于电源板通用性较低且电路简单，这里直接采用万能板焊接完成。

三 软件设计

系统采用通用C51单片机作为主控制平台，通过按键和红外遥控接收用户指令，可控制相应的功能模块进行工作。软件设计占用了系统工作量的很大部分，由于C51单片机为单线程处理器，所以设计过程中最大程度是利用了中断处理环节。

本机采用了多级菜单显示控制方法，对每一个菜单状态分配一个相应的ID号，而且把这些ID号与键值相联系，组成一个结构体，这样只需要知

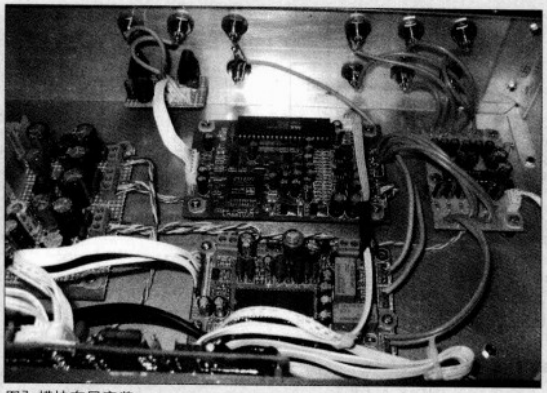


图7 模块布局安装

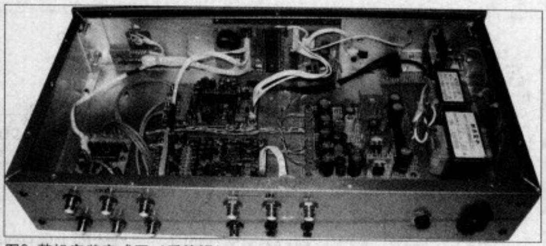


图8 整机安装完成图（后俯视）

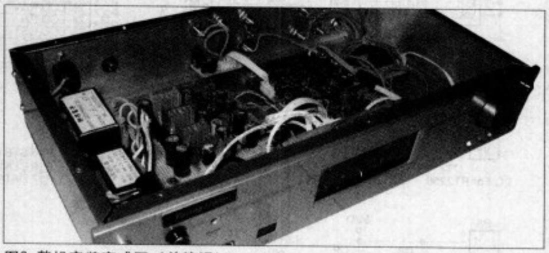


图9 整机安装完成图（前俯视）

道当前的ID和键值就能查询到新的ID，然后根据新的ID执行相应操作，这在很大程度上简化了处理器的操作流程。该系统的工作流程框图可以简化成图6所示的形式。

和硬件设计一样，软件部分也按模块进行分类，将复杂的控制程序逐个完成。在此把整个软件按功能划分为：DTS解码控制模块、卡拉OK控制模块、音量调节模块、时钟处理模块、LCD显示控制和按键遥控器识别处理等6个部分。虽然划分的模块较多，但其底层的通信协议却有很大的相似性，均为三线或两线串行数据传输协议。由于篇幅所限，这部分内容就不详细介绍了，感兴趣的读者可从本刊网站查看。

四 整机安装调试

整个系统模块比较多，尽量先将每个模块单独上电测试，确保无误后再进行整体安装。为了减小电路板的尺寸，同时降低级间损耗，很多地方使用直接焊接的方法取代接插件，这就需要注意模块安装时的先后顺序。第一步，把每个模块的位置摆好，先不要固定，根据模块之间的接口距离，把用到的连接线统一裁剪好备用，这样可以加快组装速度。第二步，安装前后面板的输出端子和LCD显示屏。第三步，用连接线把各个模块连接，固定好。至此，整机装配基本完成，先对模块之间的走线进行检查，之后上电测试。

整机完成后的实物如图7、图8、图9所示。

五 试听总结

试听搭配器材：普通DVD播放机（带数字音频）、建伍CD机作为音源，自制LM3886 五声道功放和自制HM家庭影院音箱作为输出设备。

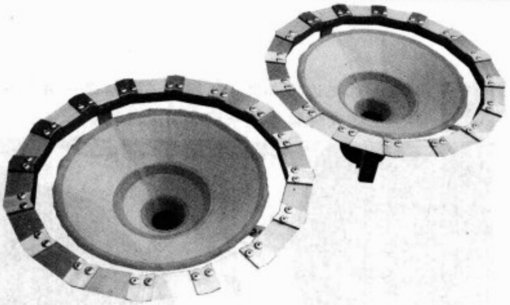
在系统控制方面，按键、脉冲编码电位器和遥控器的控制输入都能被灵敏识别并准确快速地执行相应的操作，192×64点阵LCD的显示也能清晰直观地反应系统工作状态。环绕立体声的声音定位准确，通过微调每个通道的增益，可以得到很好的环绕影院效果。不管是制作工艺，还是声音效果，整机的表现都完全达到了预期的目的，令人满意。

◇作者简介

9岁那年，我拥有了自己的第一台磁带随身听，可一直不明白，为什么接上大扬声器后，传出来的声音却还是那么小。13岁时，为了把随身听的声音传输到电视机里进行放大，竟然把电视机搞得“黑屏”了。15岁上了高中，我利用课余时间制作了自己的第一台音频功放。如今，我从事着与音响相关的电子研发工作，对音响电路设计、对DIY制作有了新的认识。“音响DIY”早已经成为我生命中不可缺少的一部分，虽然繁忙的工作和紧张的生活并不让人轻松，但是我坚信，做自己喜欢做的事情，就一定能活得精彩！

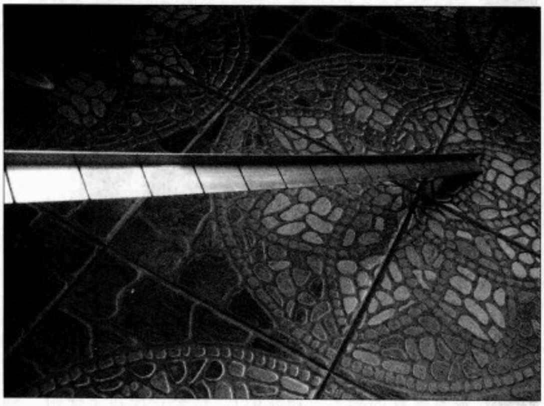
全手工打造的10英寸全频扬声器

◎文贤

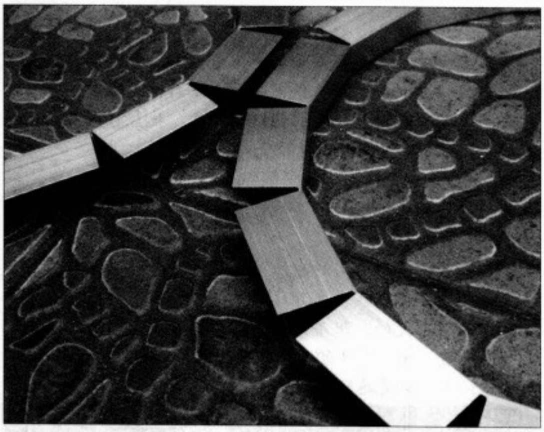


音响发烧多年，对全频扬声器有浓厚的兴趣，市场上可以买到的全频扬声器也有不少，但这样就失去了DIY的乐趣，我是一个非常喜欢动手的人，不如就买材料自己做，乐在其中。

1 先做两对10英寸的全频扬声器，算好了盆架直径后就用L形的铝材来做盆架的外框，用角磨机来切割。铝合金要用比较厚一些的，我用的是2mm厚的。

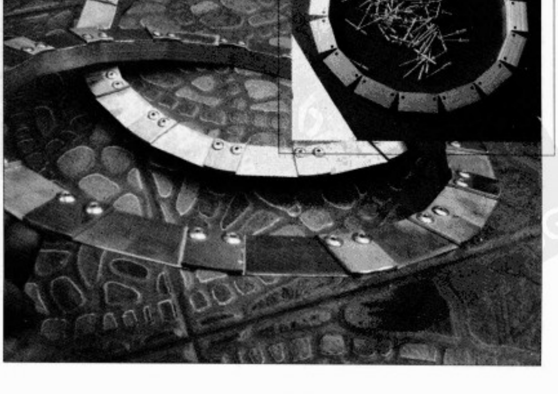


2 算出扬声器的直径后把圆分成16段，用角磨机切开L形铝的一边，用手折成圆形，在纸上画一个1:1的圆，边折边对照图上的圆，尽量对准，看看加工成这样还不错吧。

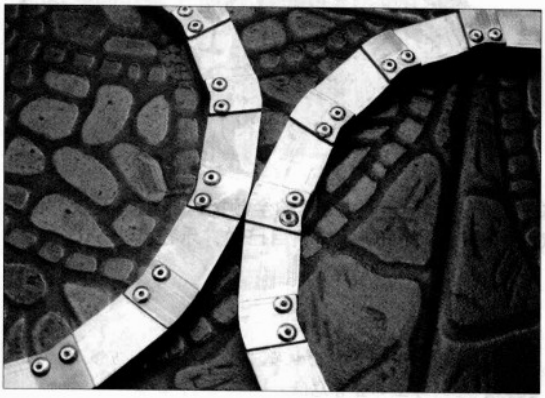


3 看看细节，用角磨机要小心，每分钟1万多转的东西碰到哪里都会有危险。

4 接下来每个圆都要用16个厚一些的铝片来加固，每个圆要打32个孔，用铆钉把铝片和圆固定在一起，16个铝片钉完，圆就相当牢固了。



5 用角磨机把边角都磨一下，要在背后每一片的接合处都涂上环氧树脂作进一步加固。



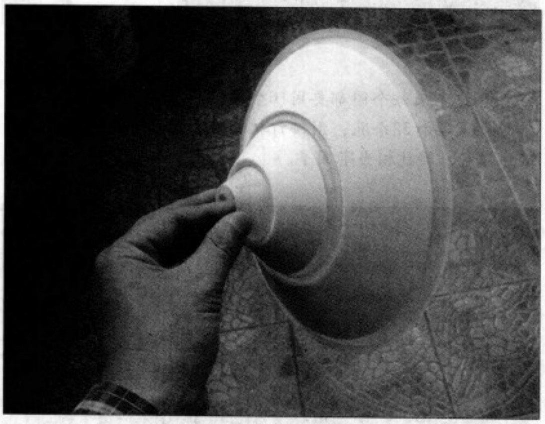
6 接下来很关键的是音盆了，音盆对扬声器的声音几乎有决定性的作用，既然是全手工打造，那么音盆当然也是手工做，我用一种特别的纸来做盆，把盆分成三段按指数的形状来拼接并在背面复合上高内阻材料，

全频单元的音盆必须具备3个条件：

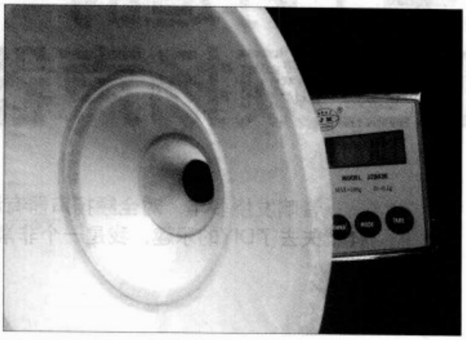
（1）盆的刚性要尽可能的好，刚性越好盆的分割震动会越小，声音就会越好。

（2）盆要具备一定的内阻尼，盆并不是越刚越好，而是要又刚又柔，所以我在盆背后加了一层高阻尼材料，这对声音的影响是很大的，阻尼高了声音会变净变醇，但阻尼也不是越高越好，阻尼太高的盆高频会下降，灵敏度也会下降。

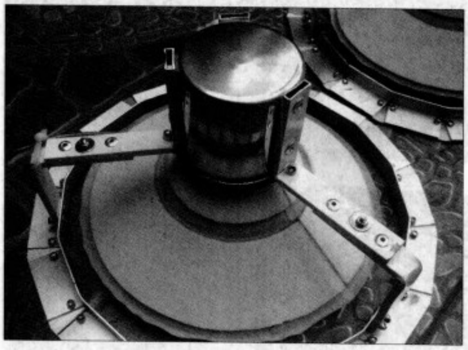
（3）盆的重量越轻越好。



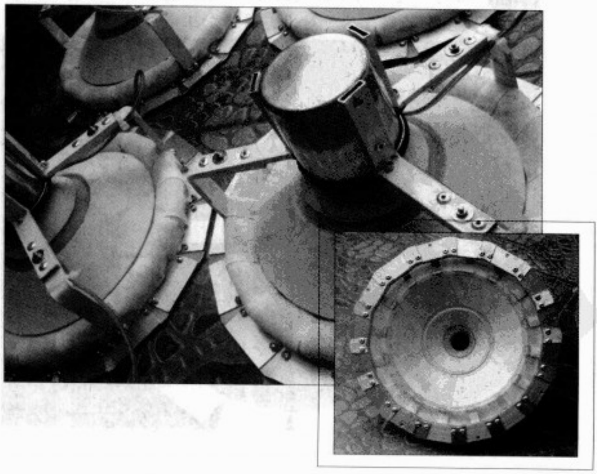
7 我做的这个盆还是比较轻的，只有10.1g，并且同时具备了刚性和内阻尼。



8 磁路我用了现成的，是钕铁硼的，很小但很强，音圈按这个盆的需求进行了改造，线性行程定为前后2mm。



9 最后完成的单元，阻抗6Ω，适合在障板上使用，细节丰富，声音温暖耐听，听人声流行很不错，不敢独享，这对扬声器已发给朋友们去试听，好不好由人去讲吧，我已乐在其中了。



自己动手制作耳机 1

——手工打造动圈耳机单元的尝试

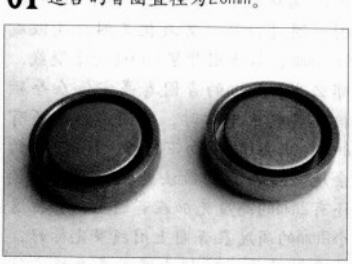
编者按：自己动手制作耳机工序比较复杂，因篇幅所限，我们将整个制作过程分为三步曲：第一步曲是手工打造动圈耳机单元的尝试；第二步曲是动圈耳机单元的改良；第三步曲是把改良的动圈耳机单元做成一副耳机。本期介绍第一步曲：手工打造动圈耳机单元的尝试。

◎倪文贤

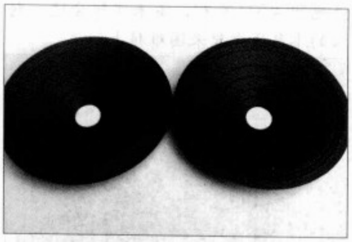
市场上能买到的动圈耳机有很多种，便宜的几十元一副，贵的几万元一副，有没有想过自己打造一副耳机呢？也许不一定能把音质做到最棒，但能做出来就有一种成就感，DIY享受的是一个过程、一种乐趣，还有的是独一无二的个性追求。

我是个喜欢动手的人，有了想法就要想办法去完成，要做完全个性化的耳机，单元肯定要自己造，所以第一步是造一对能适合耳机用的动圈耳机单元，首先准备必要的材料：

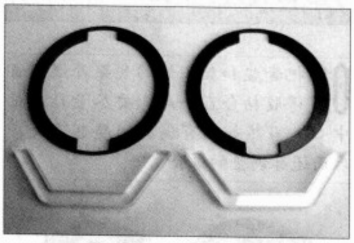
01 找了一对很小的钕铁硼内磁磁路，适合的音圈直径为20mm。



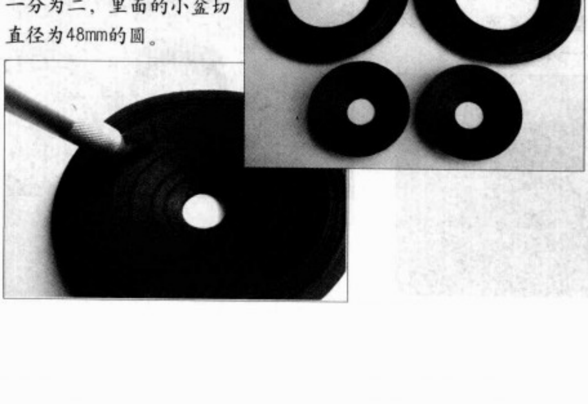
02 找了一对高音扬声器用的纸盆，盆直径为100mm。



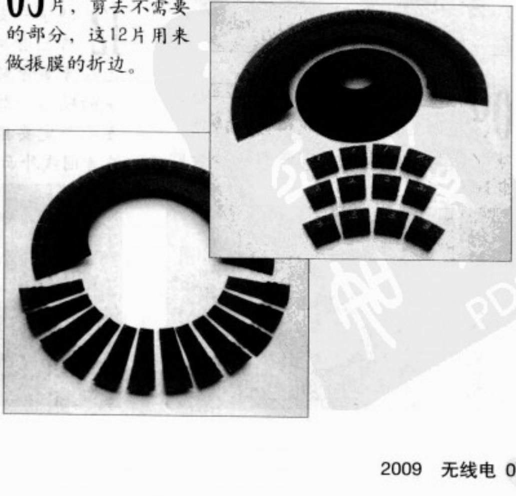
03 用亚克力加工了一些零件来做盆架。



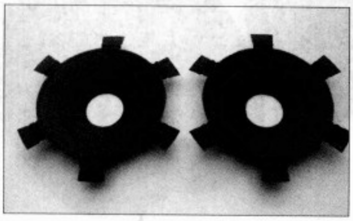
04 这对高音纸盆虽然很轻，但做耳机太大，一般耳机单元的直径在30～56mm，我打算先做一对直径58mm的单元，用亚克力加工的盆架也只有这么大的尺寸，所以先得把纸盆处理一下，用刻刀把纸盆一分为二，里面的小盆切直径为48mm的圆。



05 把切下来的音盆外圈绕圆心分成32等份，切下12片，剪去不需要的部分，这12片用来做振膜的折边。

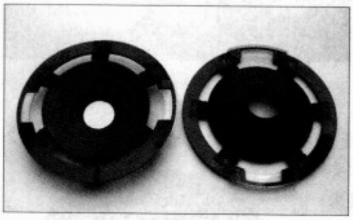


06 把12片折边和小盆用百得胶粘在一起，每个盆先粘6片，具体的折边数量得听了声音后再作调整。我的做法是先把折边数量做得少一些，开声后若觉得阻力不够再多加几片，直到折边的阻力和音圈的动力能达到一个适当的平衡点。

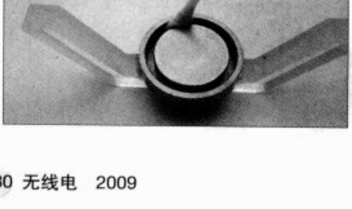


07 把做好的音盆称一下重量，只有0.2g，很轻。

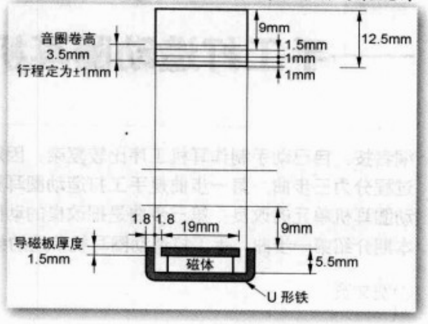
08 把音盆和加工好的盆架外圈用百得胶粘合在一起，要尽量粘在正中心，当然如稍有偏差问题也不大，后面还有调整的机会。



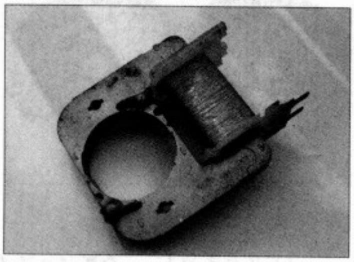
09 把磁路和音盆支架粘合在一起，磁路里面要用棉花棒仔细清理干净，以免音圈在运动时遇到不必要的麻烦。



10 接下来很重要的一步是通过分析磁路，来确定音圈的制作，先把磁路细量了一下，按1:1绘了一张图。导磁板(磁体上面的那一片，有很多种叫法，这里我称它为导磁板)厚度为1.5mm，直径为19mm，磁隙宽度为1.8mm，我把音圈的最大行程定为前后1mm，由此可以确定音圈骨架直径为20mm，音圈卷高（就是音圈绕线的高度）为3.5mm，又量了一下磁路离音盆的距离，确定音圈总高度为12.5mm。实际做时我把音圈总高多加了2mm，即为14.5mm。音圈线从音圈骨架3mm处开始绕，绕到6.5mm处为止。为什么音圈总高多加了2mm，其原因我接下来会说明。

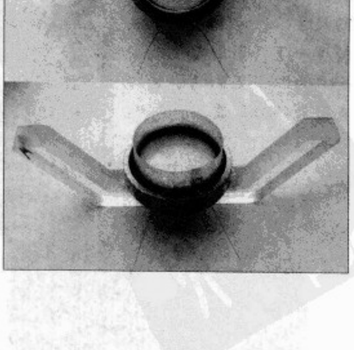


11 找了一个废旧的微波炉散热风扇上用的交流电机，用上面的漆包线来绕制音圈，一般厂家都是用醇溶或热溶的自粘漆包线来绕制音圈的，个人DIY只能用普通的漆包线来做，只要细心，一样可以做出合用的音圈，我找的这种漆包线每一米的直流电阻为1.6Ω。通过试验，在直径20mm的音圈骨架上，卷高3.5mm绕两层得到的直流电阻为5Ω左右，看来比较合适，越细的漆包线绕起来困难越大。

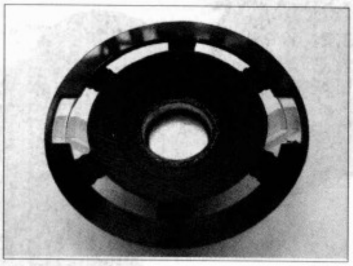


12 找了一支直径为20mm的口红，将音圈骨架套在口红外壳上。绕时先在音圈骨架3mm～6.5mm处涂一层薄薄的胶水，然后把漆包线细密地绕上去，一定要排列整齐、紧密，绕完后在音圈线外面再涂一层薄薄的胶水。

13 把绕好的音圈放入磁隙中，音圈正好在磁隙宽度的中间，音圈的卷高也在导磁板厚度的中心。但此时音圈的卷高在导磁板厚度的中心是有问题的，这就等于音圈已经打底了。这时音圈只能向上运动，不能向下运动，为什么做成这样呢？我来解释一下前面的那个问题，就是我把音圈总高从12.5mm加到了14.5mm的原因，通过计算，若我把音圈总高做成12.5mm，从音圈骨架1mm处向上绕线，那么当3.5mm的音圈卷高定位在导磁板厚度的正中心时，音圈离打底还有2mm，减去1mm的向下行程，还有1mm的余地。现在我的做法是把音圈离打底还有2mm的高度先加在音圈上，并把这个2mm的高度在音圈上用线事先标好，这么做是为了能把音圈卷高准确定位在导磁板厚度的正中心。

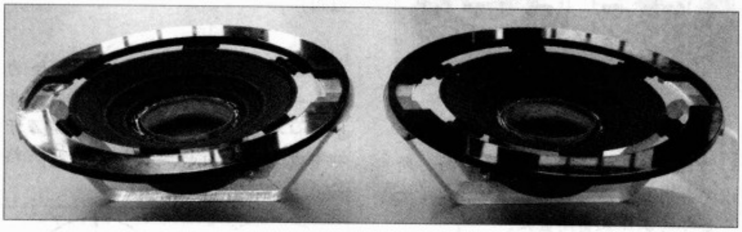


14 这时把音盆放进音圈，音圈会高出音盆1mm，这都是事先计算好的，把音圈与音盆的接合处用胶水粘合。

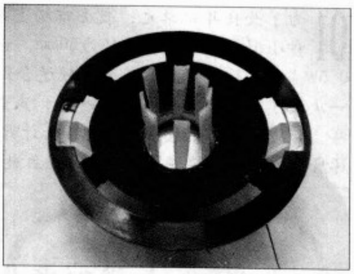


15 等胶水干透，拿起音盆，音圈也一起被带出来了，看到我事先画好的那条线了吗？用剪刀仔细沿着线剪掉音圈底部多加的那2mm高度。

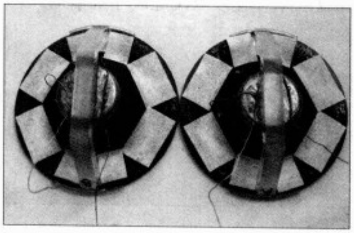
16 这时再把音圈放回到磁路中，我就可以确保音圈的卷高是在导磁板厚度的正中心，同时音圈离打底还有2mm，减掉1mm的向下行程，还有1mm余地，看到这里大家应该能明白我前面为什么要这么做了，通常在扬声器厂要把音圈的卷高定位在导磁板厚度的正中心是要用到“音规”这种工具的，在DIY的条件下只能另想办法，具体问题具体对待，我的这个办法非常简单，而且行之有效。



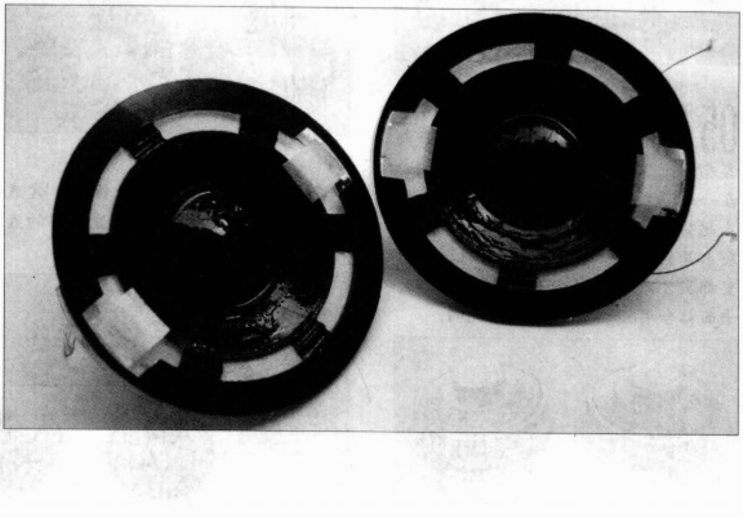
17 音圈的高度定位好了，接下来就要把音圈定位在磁隙宽度的中心，也就是以导磁板为圆心的中心。我用了8片软性的塑料片插在音圈和导磁板之间，这时亚克力盆架的上下部分是可以前后左右移动调整位置的，等确定塑料片都准确平均的插入后，再把盆架的上下两个部分粘合在一起，粘牢后小心地取出8片塑料片。



18 音圈在磁路中的定位完成后，把单元背后的音圈引出线接上弹性较好的多股线，接头部分粘在音盆上，多股线弯成弧形以增加弹性，然后把6条折边间的空隙用半透气的棉纸粘上盖住。



19 最后在音盆中心加上一个球顶的防尘帽，也是为了改善音色，根据听感我又在整个音盆和球顶上涂了一层阻尼胶，使声音变得柔和耐听，还要对折边的阻力进行细调，一对迷你单元就这样完成了，这对单元还不一定是适合耳机的，因为阻抗在6Ω左右，要用功放才能推得动，贴在耳边听声音还是不错的。



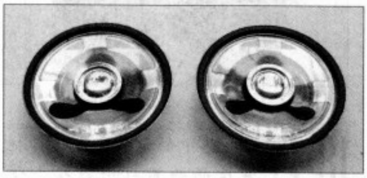
这个尝试只是向博大精深的耳机世界迈进了一小步，单元还要改进，使用更轻、更薄的音盆，单元尺寸可以做得更小一点，音圈线也要用更细的线，才能把阻抗做到16Ω以上，这样才适合耳机用，我会把接下来的单元改进过程记录、整理下来，有机会再与大家分享。

自己动手制作耳机 2

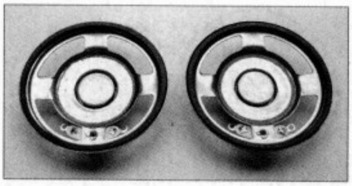
——动圈耳机单元的改良

◎倪文贤

01 为了改良耳机单元，我去市场上寻找合适的材料和零件时，无意中看到了这种小型扬声器，其直径为50mm，音圈直径为13.5mm，阻抗为8Ω，额定功率在0.5W左右，这款扬声器看来比较适合用来改造成耳机，价格每个只有2元，于是就一次买了几十个。接了功放一听，声音还挺大的，可惜就是音质比较糟糕，很刺耳。若把这个单元放在耳边听，估计听不到一分钟耳朵就受不了啦，拿着单元反复琢磨，想了几天，确定了改造方案后就开始动手了。

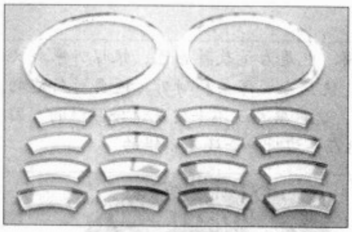


02 拆开扬声器，把音膜、音圈、防尘帽、弹簧片统统拿掉，只留下盆架和磁路，但接线柱要保持完好，利用这些零件就可以改造成耳机单元。



03 首先要做的是清理磁路，这个扬声器磁路的磁隙宽度比较小，于是我用一块小学生写字用的塑料衬板，剪成一小条。在一头粘上一层双面胶带，将粘有胶带的一头插到磁隙中去，然后顺着磁隙清理，就能把一些可能存在的杂物都粘出来，这样确保音圈在工作时可以畅通无阻。

04 因为将要换上去的新音盆的高度比这个扬声器原有的音盆高，所以需要用亚克力（有机玻璃）加工了一些必要的零件来垫高盆架。

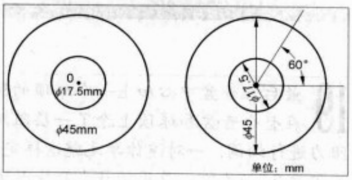


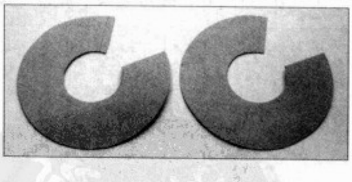
05 用502胶水仔细的把这些亚克力零件粘合在一起，每个圆的两面都各粘4片，再用百得胶将其和盆架粘合在一起，主要目的是增加盆架高度。

在此需要说明一点：粘合亚克力的最佳胶水是氯仿，但氯仿有毒，现在一般店里都买不到，所以就选用了502胶水，平面粘合用502，强度还是很大的。

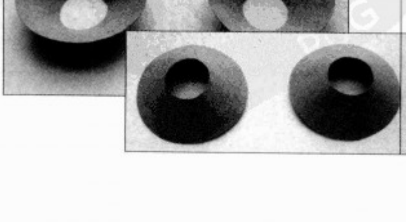
06 用牛皮纸来做音盆，纸太薄的做出来的盆强度会不够，纸太厚的做出来的音盆又会偏重，试了几种，最终使用标号120g的牛皮纸（100g的也可以用）。

07 画两个同心圆，一个直径为45mm，另一个直径为17.5mm，并以圆心为点作一个60°切角，用剪刀仔细剪开，再用百得胶把切开的两头粘合，这个步骤要做得很仔细。



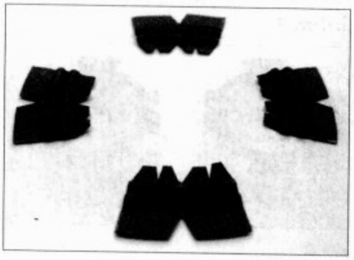


08 这是粘合后的牛皮纸锥盆，盆底部的直径约13.5mm，盆顶部的直径约36mm，盆高度为8mm左右。

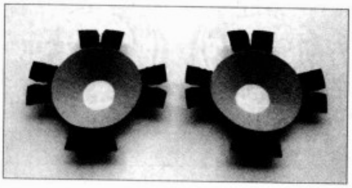


09 称了一下纸盆的重量，为0.1g，还算是比较轻的。

10 拿出以前做耳机剩余下来的纸盆折边，剪成如图所示的形状，每个单元需要用4片。



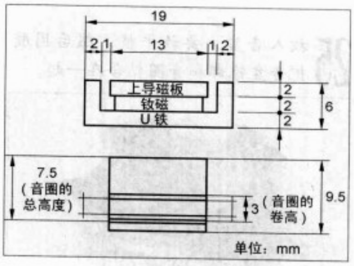
11 用百得胶把剪好的纸折边和牛皮纸音盆仔细地粘合在一起，粘在音盆的背面。



12 用一把美工刻刀，取下刀片，在光滑的一头用透明胶带均匀缠绕，绕到直径达到13.5mm左右。

13 为了更精确，我把拆下来的原音圈不断地套上去试试，一次一次地调整透明胶带的缠绕厚度，直到原音圈可以顺利套入，同时又结合的比较紧密为止（不能太紧）。

14 分析磁路是必需的，在上一篇已有详细叙述，放这张图是为了方便有兴趣的朋友去尝试制作。因为这个磁路很小，为了精确，我只能牺牲一个磁路，撬开来仔细测量。测得导磁板厚度为2mm，导磁板往下距离底部只有2mm，所以音圈的卷高只能定为3mm，线性行程定为±0.5mm，音圈的总高定为7.5 mm（磁体的外径为19 mm，U铁厚度为2 mm，磁隙宽度为1 mm，导磁板直径为13 mm，音圈总高加音圈到磁路底部的高度为9.5 mm）。

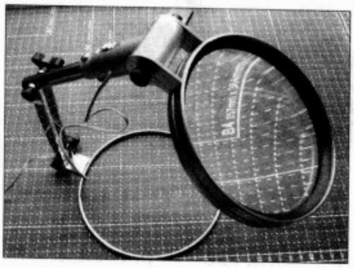


15 原音圈是用牛皮纸做骨架的，新的音圈我用KAPTON（也叫聚酰亚胺）做骨架，因KAPTON不但轻、绝缘性能好，而且耐高温的能力很强，通常可以耐受200℃以上的高温，比牛皮纸强很多，很多高级的扬声器都采用KAPTON做音圈骨架。这种音圈专用的KAPTON材料市场上很难买到，于是采用KAPTON耐高温胶带来替用。

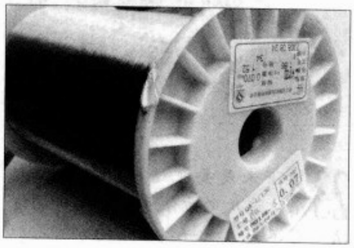
16 先把KAPTON胶带反绕一圈半，让有黏性的一面在表面。

17 再把KAPTON胶带正绕一圈半，和前面有黏性那一面粘合在一起，一共是绕3圈，绕好了看上去是黄灿灿的，很漂亮。

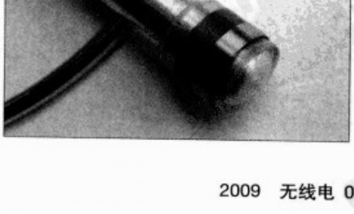
18 为了提高绕音圈的精度，我特地去买了一台可以放大两倍、还带有照明灯的放大镜。



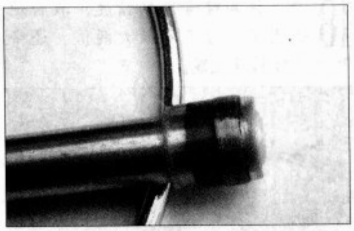
19 买了一筒0.07的漆包线，QA直焊线，耐温130℃。



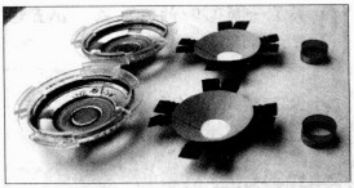
20 激动人心的时刻到了，开始绕音圈！这可是真正的细活，只有0.07的细线，需要在情绪稳定、呼吸均匀，心手合一，专心一致的情况下才能绕制成功。每一圈绕线都要仔细紧密地排列，在放大镜的帮助下，操作一切进展顺利，这是绕制的第一层音圈线，排列得很好。



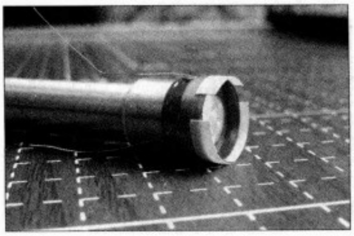
21 绕完第一层音圈线后要在线表面涂上一层环氧树脂（耐温130℃左右），要涂得均匀，不能太厚也不能太薄，然后继续往回绕第二层线，绕完后再涂上一层环氧树脂，要等树脂完全干透后才能取下音圈，一般需要等12个小时，若天气冷的话，这个时间还要更长。这个音圈共绕了2层，绕完后测得直流电阻是13.5Ω左右， 这样一般的耳放都可以驱动。



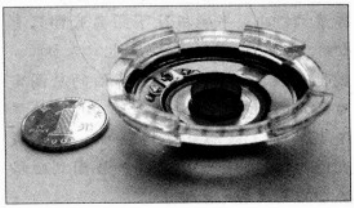
22 把改良过的盆架、牛皮纸音盆和全手工的KAPTON音圈放在一起，哈哈！很有成就感，DIY就是在追求这种感觉，不断挑战自我动手能力的极限。



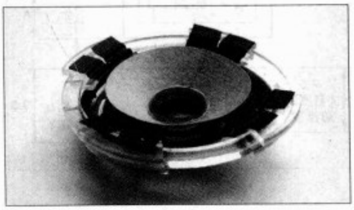
23 接下来是要把这些部件组合起来，这次的方法和上一篇讲的方法略有不同，上一篇介绍的方法是加大音圈高度来定位音圈的磁隙高度，定位完成后再拿出音圈，剪掉多余部分（详细过程请看上期杂志）。这次的音圈比较小，而且采用的是KAPTON的骨架，用剪刀很难操作，因此，就想出了现在这个办法：先粘一圈纸片，高度是当音圈放到底正好能使音圈线在磁隙高度的中心。



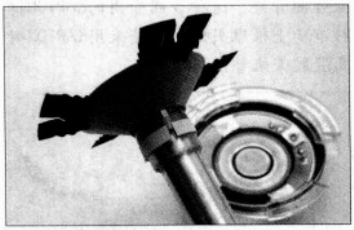
24 然后把音圈放入磁隙中，可以看到音圈线刚好有一点点能露出来。这其实就是音圈向后的线性行程，对比一下左边的一元钱硬币，能显示出音圈真的很小。



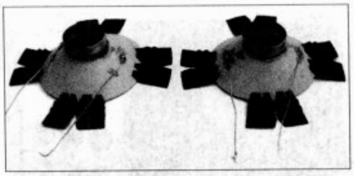
25 放入音盆，要放平整，然后用胶把音盆锥部和音圈粘合在一起。



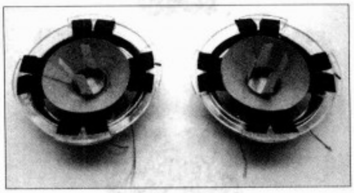
26 等胶水干透后，取出音盆，小心的揭掉粘在音圈上的白色纸片。注意：一定要把音圈套入绕制音圈的工具后再揭纸片，以免在揭拉的过程中引起音圈失圆。



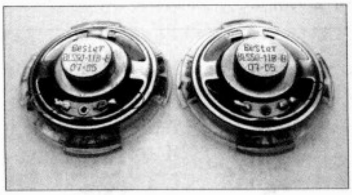
27 把音圈线焊接在较粗的多股线上，焊接头用胶粘在音盆背面。



28 由于这个磁路的磁隙宽度很小，我只能用很薄的纸片剪成条状插在磁隙中来定位音圈，然后把黑色折边粘合在亚克力盆架上，粘牢后再取出小纸片。

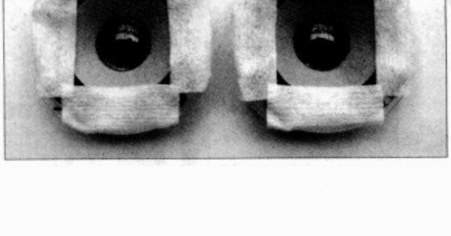


29 把音圈引出线和盆架上的接线柱焊在一起，线弯成一定的弧度以增强伸缩性。



下一篇将介绍如何把两个单元做成一副耳机，感兴趣的读者请密切关注下期内容。

30 把盆架与音盆之间有空隙的地方用半透气的棉纸覆盖，在音盆中央装上一个小的黑色防尘帽（也可以把拆下来的原防尘帽装上去用，银白色的也挺漂亮），两个50mm的小单元完成了，与上一次制作的单元相比，这次的更适用于耳机，可以用耳放直接驱动了。

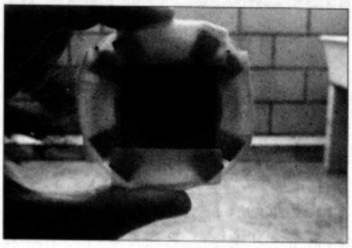


自己动手制作耳机 3

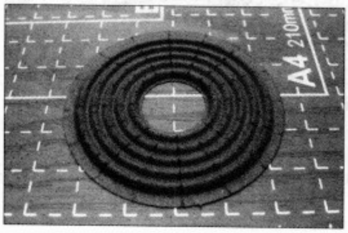
——把改良的动圈单元做成一副耳机

◎倪文贤

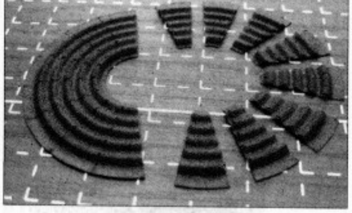
01 在上期介绍了如何改良耳机单元，现在我用这对制作好的耳机单元放在耳边细听，发现弹簧片和折边的阻力还不够大，导致音量一调大音圈就容易跑出线性行程，引起非线性失真，特别是播放一些大动态音乐时比较明显，要再加折边有点困难，于是就拆了这对单元再进行一次改进。



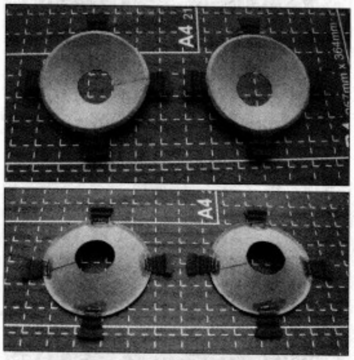
02 找到了这种高音用的弹簧片，阻力较大，用量角器把它分成了16等份。



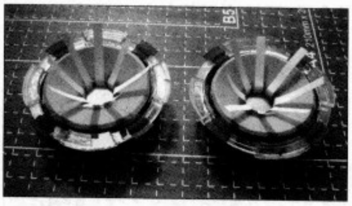
03 切下8片，每一个单元用4片。



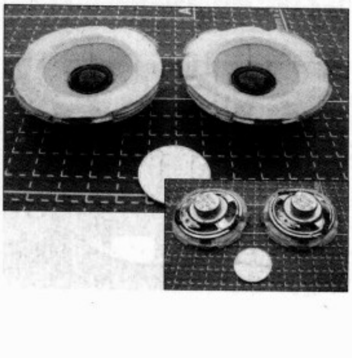
04 重新制作了音盆，还是用牛皮纸做，音盆直径做得比上一个略大一些，并在盆边加了一圈折边以加强刚性。



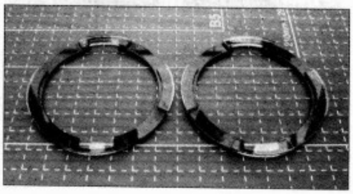
05 用纸片定位音盆，这些就不多讲了，前一篇有详细叙述。



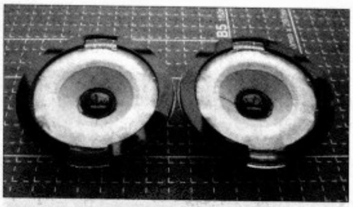
06 白色半透气的边也重新做了，更美观，这是重新完成后的单元，这次的弹簧片有了足够的阻力。



07 用亚克力加工了这两个零件，事实上这是做第一对单元所用的零件，现在用在了第三对单元上，这说明改进的每一个过程都不是白费的，是可以累积的。

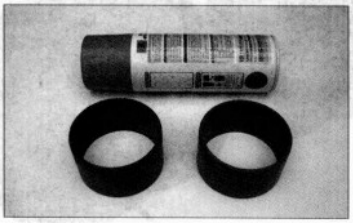


08 把单元和亚克力圆环粘合在一起，这样正好可以装入接下来要做的耳机壳体中。

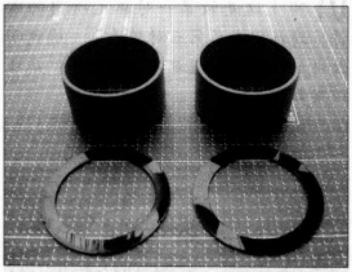


09 接下来要做耳机壳体了，我找来用完了的透明胶带芯子，这几乎可以算是废品了，现在我要把它废物利用，并不是所有的胶带芯子都合适的，要找比较厚的、硬度高一些的。还要准备1瓶蓝色的自喷漆。

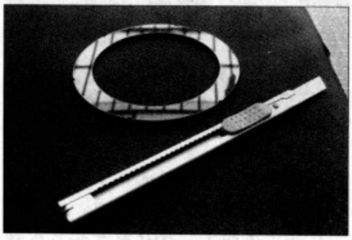
10 我找的这种胶带芯子强度是不错，但毕竟是纸做的，受潮了容易变形，所以得在表面喷上一层自喷漆，我里里外外喷了两层，这样耐用性就大大提高了。



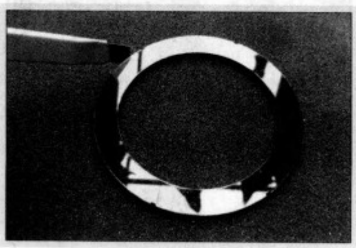
11 根据胶带芯的直径加工了两个亚克力环，这个是用来做耳罩的部分。



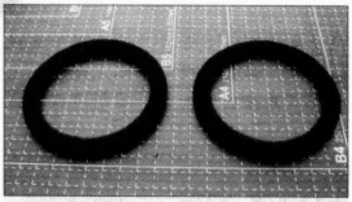
12 买一块7mm厚的黑色海绵用来做耳罩，最好能有个模具直接冲压海绵，这样做出来比较精美，但这个代价太大了，还是自己动手，丰衣足食，就用这个亚克力环来充当模具，用锋利的美工刀来切割。



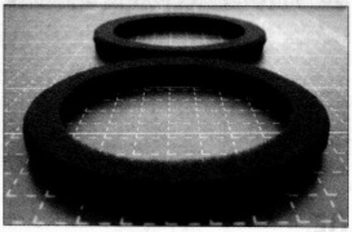
13 为了使切割出来的海绵圈均匀美观，我是在一个圆形的凳子上切割的，下面得垫上厚的硬纸板，以免刀片切穿了海绵损伤了凳子。切割时一只手压住亚克力环，另一只手拿美工刀紧靠亚克力环边缘，刀片的切入角要尽量垂直，然后上下轻轻拉动刀片，同时两腿要根据切割速度缓缓绕着圆凳走一圈。



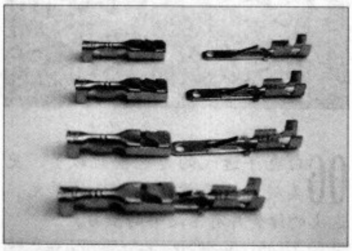
14 这个步骤有较大难度，心、眼、手、脚要同时配合工作，建议先找个边角试一试手，找到感觉了再下手。这是里外切两次后得到的结果，看起来还不错，和冲压出来的很接近了。我试过几种厚度的海绵，10mm以内的比较合适，再厚的切出来上下容易斜，会不均匀。



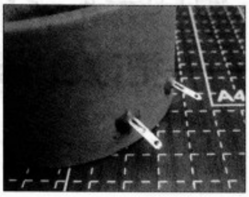
15 然后把黑色海绵和亚克力环粘合成一体，一手拿一个压在耳边模拟实际配戴，感觉还是挺舒服的。



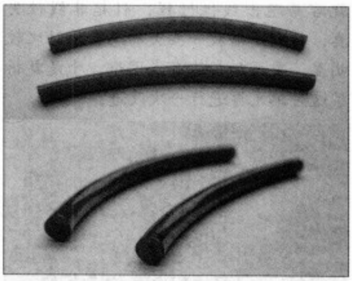
16 打算把这副耳机的线做成可拆换的，就到电子市场买了这种插头、插座，金灿灿的很漂亮。



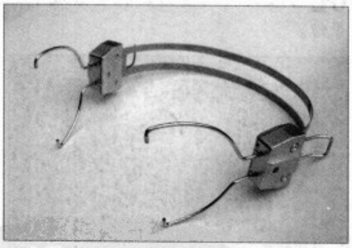
17 在耳机壳体的这个位置打两个孔，装入两个插头，用环氧树脂粘合，插头的另一边焊好导线。



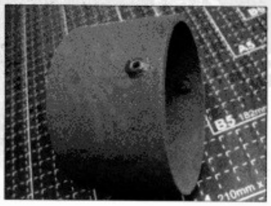
18 买了这种硬度较高的塑料管子，内径2mm，外径4mm，用来做装耳机头梁的孔。



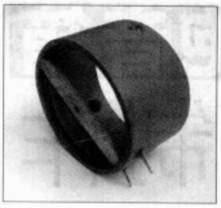
19 耳机的头梁可以用不锈钢片、铝合金、护套管、亚克力等材料手工制作，但费时、费力，外观也不一定好看，这期的制作中使用的是现成的头梁。



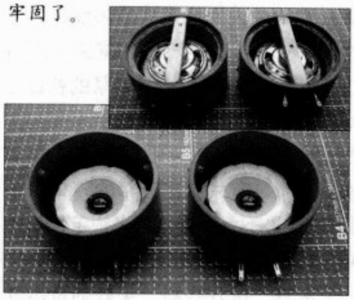
20 根据头梁的尺寸来确定耳机壳体上的开孔位置距离，因头梁和壳体的接触部分经常会转动摩擦，时间长了容易损坏壳体，所以要在孔中插入一小段这种硬度较高的塑料管子，用环氧树脂粘合。



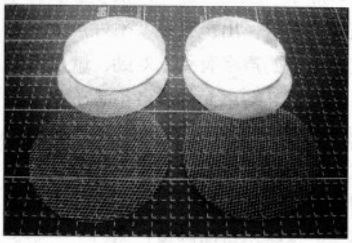
21 在壳体后面内部粘合一圈高度为12mm的胶带芯子，在上面粘上一根横梁，一是可以提高壳体强度；二是用来固定单元。



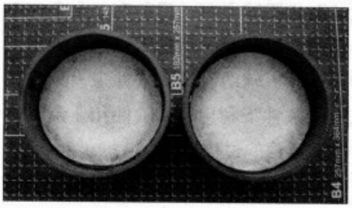
22 把前面完成的单元放入到壳体中，黑色亚克力的边和壳体内部的那一圈胶带芯子粘合，单元磁体和壳体后面的那根横梁粘合，这样就很牢固了。



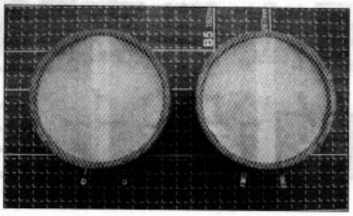
23 接下来需要加工这两种材料：一种是用市场可以买到的铝合金滤网，用厚一些、孔密度高一些的，剪成和壳体外径一样大的圆。另一种是用半透气的棉布或棉纸，剪成和壳体内径差不多大的圆。



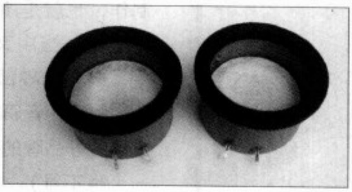
24 在单元正面覆盖一层半透气的棉布或棉纸，用胶水与亚克力边粘合。



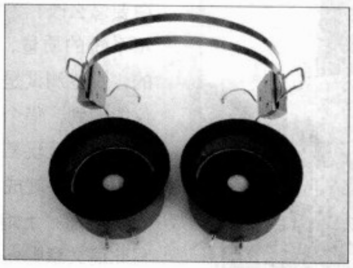
25 在单元背面也粘合一层半透气的棉布或棉纸，然后再粘上铝合金滤网。



26 拿出前面已完成的耳罩，把耳罩的亚克力部分与壳体的正面粘合在一起，之前的做法是直接把海绵套在壳体上并粘合（请看第一篇标题边上的耳机完成图），这次在耳罩和海绵之间加入了一层亚克力环，使耐用性、舒适性都得到了提高。

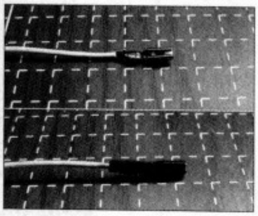


27 根据听感在单元的前面粘上一片中间带孔的薄海绵，可以在不影响高频的前提下增强中低频的厚度感。耳机的调音方法多种多样，有兴趣制作的朋友可以先不要把壳体前后都粘死，根据各人听感的不同慢慢地调整，单元前面、后面、壳体内部、单元离耳的距离等因素的改变都会对声音产生比较明显的影响。

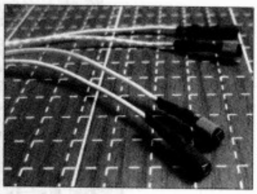


28 装上头梁，一副DIY耳机完成了，这里除了头梁外其他的部分基本都是利用廉价的物品手工完成的，拿在手里很有成就感，哈哈！

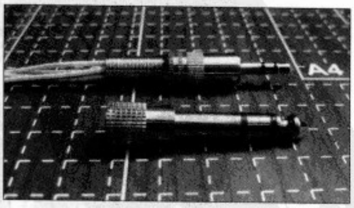
29 接下来还要做线，先把线和插座焊接在一起，然后套上一段热缩管，用打火机加热一下。



30 再套上一段红色热缩管用来区分正、负极。



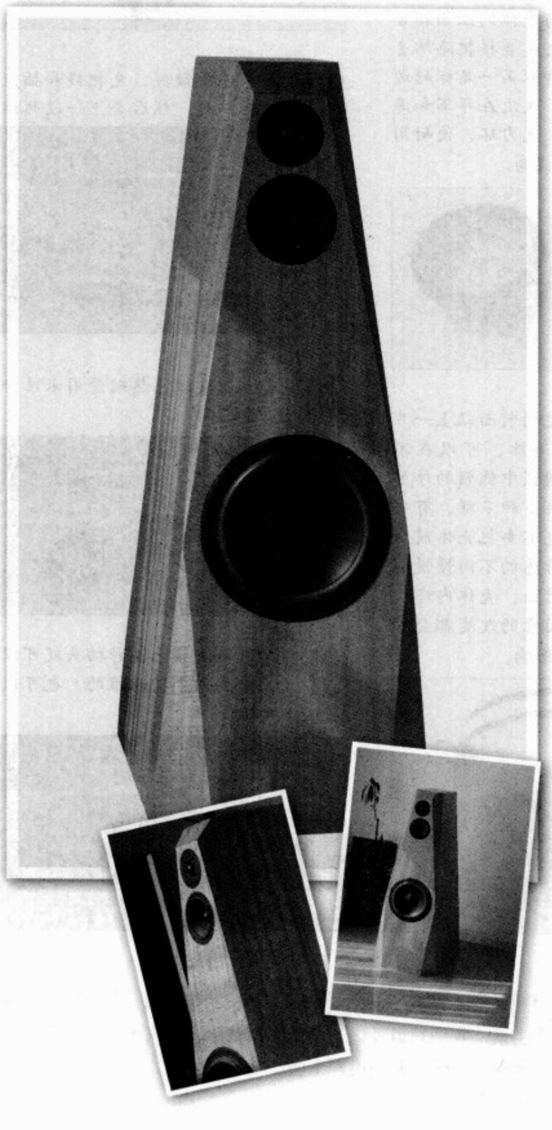
31 线的另一头接上这种插头就可以了，若要用小功放推的，也可以接上香蕉插头。



小结：从单元到耳机，这里完成了一个最基础的耳机制作过程，就像婴儿学走路一样，只是一种初步尝试，我们知道耳机的世界博大精深，还有太多、太多的奥秘等着我们去尝试、去发现，我会不断地摸索下去，找到更好的方法，制做出更好的耳机，等有机会再来和大家分享。

一款三分频高保真土炮音箱的设计与制作

©okra



“土炮”这个词是20世纪90年代初流行的，那时“DIY”这个词还没流行，电脑与网络也未普及，而Hi-Fi（高保真）音响或说发烧音响的热潮正席卷全国。发着“烧”的人们，手头宽裕一些的就购买进口货，即所谓“洋枪”，动手能力强或资金有点紧的就自己制作，也就是所谓的“土炮”（现在叫DIY音响设备）。“土炮”当中又以DIY音箱居多，因为自制音箱比较简单，需要的零部件较少，而且有关自制音箱的介绍也很多。的确，音箱的制作过程是不太复杂，买来银笛、南鲸或惠威等品牌的扬声器单元，再买个成品分频器（自己搭一个也不难），钉一个木箱，接几根线，美妙的音乐就迎面扑来，“土炮音箱”就是这样“音分三路，烧灼八方”。

随着“发烧”的降温，这些“土炮音箱”的制作热潮冷却得更快，特别是由两个以上扬声器单元组成的分频箱，其主要原因是大多数“土炮音箱”的声音很难做到平衡和准确，用一个字来形容，就是“土”。很多发烧友做了一堆音箱后发出这样的感叹：出声容易，出好声太不容易了！的确，明知道做出来的声音有点不对劲，就是不明白要怎么改，为啥？因为扬声器单元的质量不等于整个音箱系统的质量，而业余条件下是无法准确测量音箱参数的，那些测试是要在消声室里完成的。借个示波器、频谱仪能做到，借个消声室？对于大多数人来说，这几乎与借架飞机来玩玩差不多了，这是不可能的事！所以，“土炮音箱”几乎就成了制造“恶声”的代名词。

既然“土炮音箱”的质量没有保证，为什么还要动笔写此篇文章呢？嘿嘿！时代不同了嘛。目前在业余条件下测量扬声器单元和音箱的指标参数已不是太难做到的事，很多爱好者已用CAD（计算机辅助设计）软件来设计音箱了。本文就要介绍在业余条件下利用CAD软件和业余测量工具设计制作一款高保真音箱的过程。

设计目标

这款音箱应能较好地重播绝大多数音乐，符合高保真标准。具体地说，频率响应下限应达到30Hz以下（钢琴最低音A2的频率是27.5Hz），上限达到20kHz以上。频率响应曲线比较平滑，没有大的峰谷，在200Hz～16kHz范围内波动幅度小于±3dB。灵敏度不要太低，在85dB（2.83V/m）以上。整体表现中性，无明显声染。希望是密闭箱结构，有较好的低音质量，总造价控制在5000元左右。

单元选择

根据上述的目标，这对音箱应采用三分频的结构才能适用，两个分频点应该分别在300Hz和3000Hz附近，分频点跨度大于3个倍频程，因此就选择10英寸以上的低音+5英寸左右的中低音+软球顶高音（图1）。不考虑球顶中音，因为球顶中音的频响下限太高，不能满足上面的要求。由于现在网络信息十分方便，在网上可以查到市场上常见或不常见的各种扬声器单元的技术资料，因此充分利用网络资源，可以从中进行最佳选择。

对于低音单元，一开始先是在进口扬声器中寻找，但国内市场上进口的大口径低音种类并不多，价格也相当高，动辄千元以上，并且大多数单元适合于倒相箱结构，没见到几款适合做密闭箱的。曾经发现有一个做密闭箱很理想的NHT 1259，但在国内却未看到有代理的。倒是Hi-Vi的D10.8和W12很适合做密闭箱。D10.8的灵敏度为90dB，标称阻抗8Ω，谐振频率f_0为24Hz，虽然在600Hz附近有个讨厌的谐振峰，给随后分频设计会造成困难，但基本可以满足要求。加拿大的音响配件商solen将它推荐为Dynaudio 著名低音单元30W100XL 的Closest match Suggested Replacement最接近的替代（http://www.solen.ca）。

中音单元想找一个灵敏度较D10.8稍低3dB左右、频响尽可能平滑的，因为大部分的乐音都将由它发出。在Seas、ScanSpeak、Eton等品牌中找了又找，在Eton 5-880和ScanSpeak 13M/8640之间犹豫了许久，最后还是放弃了，另选择Vifa P13WH了。据说这个单元曾经被誉为世上最好的中音之一。它采用填充矿物的聚丙烯材料制作振膜（Dynaudio的低音单元也多采用相似的材料——MSP），它的频响曲线极其平直，高频响应延伸到5kHz以上，并自然滚落。用这款中音单元易于搭配高音单元，分频器设计也因此简单，因此这成了很多DIYer的选择。OK！就选这个了。

最后是高音单元的选择，由于网上有不少采用P13wh的设计都采用了ScanSpeak的2905/9500，因而就照搬了。它是ScanSpeak 2905系列中的第二款高音，采用1英寸软球顶振膜和添加液磁的磁路，与后续的型号相比，主要区别之一是音圈的电感量大了一点。

T/S参数的测量

T/S（Thiele-Small）是描述扬声器单元的基本参数，由A. N. Thiele和R.H. Small两位先生在20世纪60年代提出的。它主要包括扬声器单元的f_0（谐振频率）、V_{as}（等效容积）、Q_{es}（电Q）、Q_{ms}（机械Q）和Q_{ts}（总Q）等小信号参数和P_{max}（额定最大功率）和V_d（单元振膜在最大振幅时所推动的体积）两个大信号参数，现在绝大多数扬声器和音箱的专业设计人员都要用到它。虽然Hi-Vi在随箱附带的说明中给出了D10.8（包括T/S参数在内）的各项数据，但数据与公司网站上公布的数据并不一致，而且网站上公布的中文版与英文

图1 扬声器“全家福”

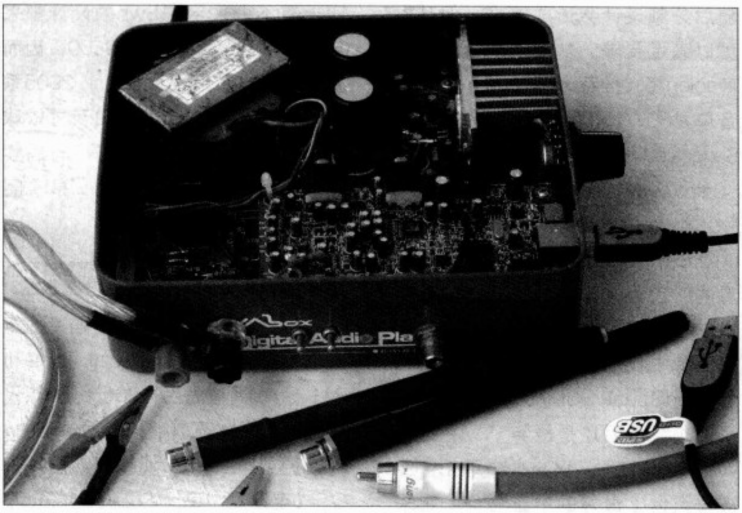


图2 自制的音箱测量工具

版的数据也不一致，相差很大，让人一头雾水。考虑到不同批次产品之间可能存在的差别，因此决定还是自己重新测量一次较为稳妥。

为了测量T/S参数和其他各项技术参数，我装配了一个测量套件（由国内影响力最大的音响DIY网站www.hifidiy.net开发的“音箱测量套件”）。这个测量套件看起来十分的简陋（图2），但可以与LspCAD、SpeakerWorkshop以及LspLAB等软件配合使用，本人的测量套件中安装了一个USB声卡，可方便与笔记本电脑配合使用。这个测试套件是业余音箱设计制作难得的好帮手，甚至可以说没有这个工具，就没有本文所述的这个音箱的设计与制作。

常用的T/S参数的测量方法有两种：一种是附加重物法，另一种是密闭箱法。前者将使扬声器的谐振频率f_0下降，而后者使谐振频率上升。由于D10.8的f_0不到30Hz，如果采用附加重物法，f_0将下降到20Hz附近而测不准，所以就采用密闭箱法。大致过程是这样的：先用测量套件配合LspCAD的JustMLS分别测量D10.8在自由场和一个体积为100L的密闭箱中的阻抗－频率曲线，测得的阻抗－频率数据导入到SpeakerWorkshop中用于T/S参数的计算（SpeakerWorkshop本身也有测量的功能，但不如Justmls方便准确）。测得D10.8的小信号参数：f_0为27Hz、V_{as}为149L、Q_{es}为0.46、Q_{ms}为6.11、Q_{ts}为0.42。将这些数据与Hi-Vi网站上公布的中文数据进行比较，可以看出，虽然略有出入，但应算基本一致，因此决定使用自测的数据进行箱体设计。

箱体结构

从测得的T/S参数看，Hi-Vi D10.8确实适合采用密闭箱结构（如果采用倒相箱结构，箱体体积将偏大）。一般认为密闭箱的低音质量会比倒相箱好，调整也简单些，但低频的量感比倒相箱要差一些。为了保证更好的声音质量，根据T/S参数，用LspCAD的密闭箱设计工具，设计Q_{tc}低于0.707，以牺牲些量感换回更好的低音质量。初步确定箱体净容积为90L左右。箱体做成4个侧边非平行的上小下大的金字塔状结构（图3），以尽量避免箱内驻波的产生。这样箱体内部相当于一个棱台。对于棱台的体积应该这样计算：$V=1/6\times h\times(S_{上}+4\times S_{中}+S_{下})$，其中$S_{上}$为上底面面积，$S_{中}$为中截面面积，$S_{下}$为下底面面积。一开始时不理解这个公式，所以计算错误，做出来的箱子实际容积约为105L，幸好密闭箱对容积不是很敏感，这个体积将使Q_{tc}略有下降。另外，对于D10.8，这个大一点的容积有一个好处是可以加上倒相管和相应的塞子，做成倒相－密闭一体结构，这算是意外的收获。

为了避免低音单元向后的声音辐射对中高音的影响，中高音室做成独立的，形成箱中箱的结构。中音室的容积约2.7L，高音室的容积约1L。这是中低分频点在300Hz左右的设计。如果需要分得更低，或使用其他的中音单元，需要另外计算。如果尺

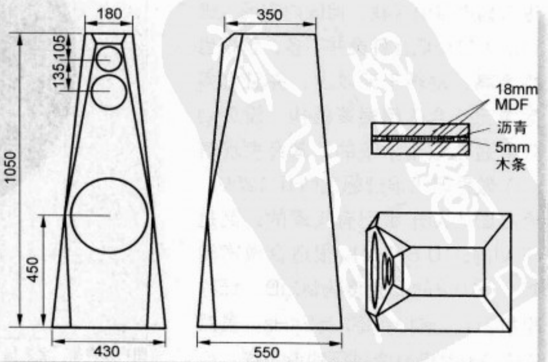


图3 箱体结构略图

寸不受限制，可以考虑把中音箱的容积做大一些，这样装箱后中音单元的 f_0 不会升高太多，f_0 远离分频点将更有利于分频设计。

箱壁采用“三明治”结构，即由两层 18mm 中密度纤维板夹着一层沥青构成（图 3）。双层的中密度板总厚度达到 36mm，可以使箱壁具有足够的刚性。箱体内部还在 4 个侧壁及低板间添加了许多裁板余下的边角料做成的加强筋，并在左右侧板间加上 3 根用 5 mm× 8 mm 的实木方条做成的横梁，以抑制音箱在播放音乐时的振动，避免声染色即所谓的“箱声”。双层板中间的沥青层具有高的粘性，浇灌后可以有效地粘合两层密度板，使之形成一个整体，由于沥青具有的高阻尼特性，它可以进一步吸收箱壁的振动能量。

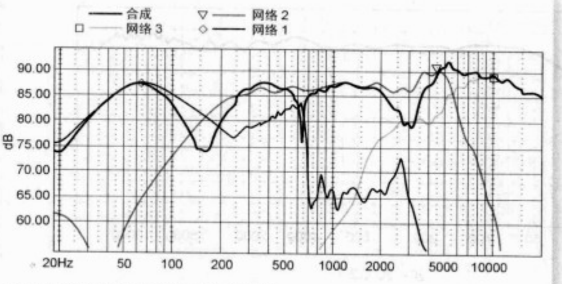


图5 使用公式设计的分频器的模拟结果

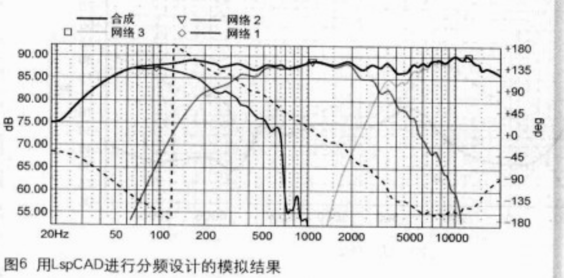


图6 用LspCAD进行分频设计的模拟结果

箱体的大切面造型有利于消除箱体边缘的声衍射现象。这个设计工作本来可以由另一个CAD软件－Leap进行辅助设计，但那时并没有认识到这一点，所以仅仅从外观着眼来进行设计，尺寸上带有很大的随意性，在此不具体提供，以免误导读者。

装箱测量及分频器设计制作

分频器设计是在单元装箱后进行的。单元装箱后的阻抗曲线和频响曲线等参数的测量是分频器设计的重要依据，准确测量得到的数据用于分频器的模拟和设计可以大大地减少后期的调整工作。

在这之前，发烧友常常使用各种分频公式来设计制作音箱。这些公式没有错，如果扬声器的阻抗以及频响特性是完全线性的话，或者说，那些曲线都是一条直线的话，并且“声中心”可以完全对齐，那当然可以得到理想的设计效果。非常遗憾，迄今为止，这种“理想”的扬声器单元还没有被设计和生产出来，几乎所有的扬声器单元，其频响曲线不是一条直线，阻抗曲线也不是一条直线，不但不平坦，还非常的坎坷（要不就不会被叫做“曲线”了）。所以直接应用公式，等于无视扬声器单元的各种复杂的具体特性，只能是纸上谈兵。在接触这些软件之前，我也试着用公式，按巴特沃斯响应设计了一个分频器，从图 5 可以看到用 LspCAD 测量直接使用公式的设计进行模拟后的结果，那真是惨不忍睹啊。按照多数书本上的介绍，高低通都是二阶时，由于相移正好为 180°，所以两个单元应该反相连接，但往往事与愿违，其原因是在应用原理时没有考虑到在装箱后，单元之间的声中心不可能对齐而造成的相位差。所以不考虑扬声器单元等复杂的实际情况而直接简单地套用分频器公式，无异于刻舟求剑，这也是为什么“土炮音箱”不出好声的根本原因。

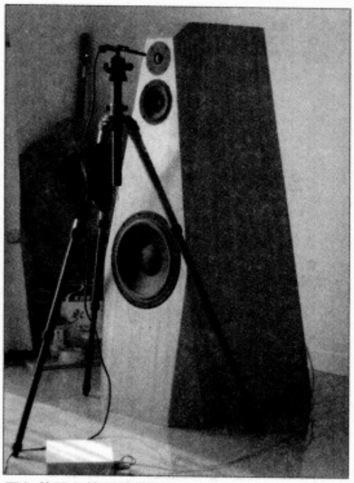


图4 单元上箱后的测量

一般来说，扬声器参数的准确测量需要在消声室或无响室里进行。LspCAD中集成的测量软件JustMLS之所以可以在普通的家居环境中使用（图 4），主要是它使用了MLS（Maximum Length Sequence，最长序列码）作为测试信号，这个信号的频谱接近于随机的白噪声，但又是经过编码的，即所谓的“伪随机信号”。由于测量时环境的反射声经过的路径总是比直达声长，通过合理设置“时

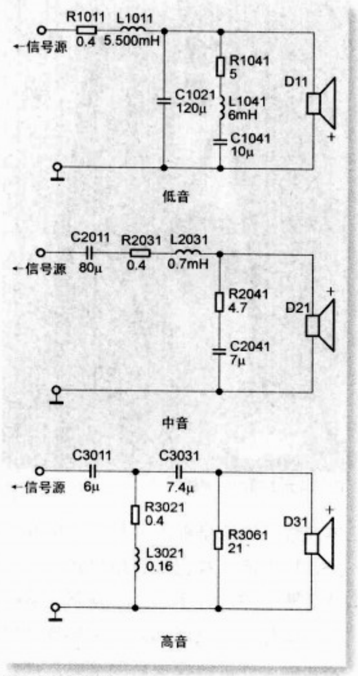


图7 分频器电路

间窗”，可以过滤环境的反射声，而仅留下从扬声器发出后直线到达话筒的直达声，因此可以有效排除环境干扰，达到类似于消声室的效果。

JustMLS测量得到的阻抗－频率数据以及频响（包括幅频与相频）数据用LspCAD的分频设计功能进行模拟，很快就能得到所希望的分频器设计（在CAD时代之前，这可能花费数以月计的时间，不断地尝试各种方案，然后再测量试听，现在要取得初步方案只需数日的模拟与测试）。图6所示是LspCAD模拟的结果。考虑到之前的测量可能存在的误差，特别是单元间相位差的测量可能存在的误差，在分频制作完成后还需要再进行测量验证，当然，不可少的还有试听和微调。

第一版的分频器完成后，这个音箱的声音完全符合作者自己的听音取向。在客观的技术指标方面，它在50～20000Hz内的频响不均度＜±2dB。主观听感与客观的技术指标都远远超过了作者的预期目标。但是，非常遗憾的是，到了冬天，发现音箱的声音变得有些怪异。经过测量发现，由于南方的冬天室内没有暖气，随着气温的下降，中音单元Vifa P13wh的橡皮边严重硬化导致单元的f_0大幅上升。在去年冬天我国发生雪灾时，本人家里的室温降到10℃以下，它的f_0高达300Hz以上！甚至高过了中低分频点，直接严重影响了中、低单元的分频结果。针对这个问题，我又对分频器进行重新设计，图7所示的是最后设计的分频器，在室温不低时能工作良好（见实测曲线图8、9）。由于新设计完成后，天气已经回暖，暂时看不到它在低温下的实际表现。希望它能经得起今年冬天的低温考验。

分频器的低音部分是一个二阶低通滤波器，由于分频点低，使用的电感、电容数值都较大。电感应该使用铁芯电感，使这个大电感的内阻（即图7中与电感串联的0.4Ω电阻）能控制在0.4Ω以下。电容可以使用耐压100V以上的无极性电解电容，而中音与高音的高通电容应考虑使用薄膜电容。低音部分还有一个RLC陷波电路，用于抑制D10.8在600Hz附近的谐振峰，这个电路中的电感可以选用工字形磁芯电感，不必在这3个元件上花费太多。

总的来说，虽然这个音箱完成后有许多遗憾，但还是一个超乎本人预先想象的音箱，它的出色表现应该完全归功于计算机辅助设计的强大支撑，在CAD时代，“土炮”完全可以出好声！

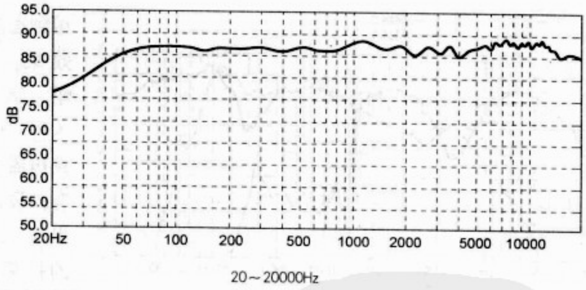


图8 实测频率响应曲线

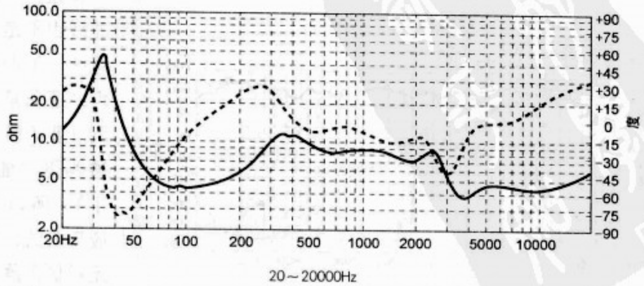
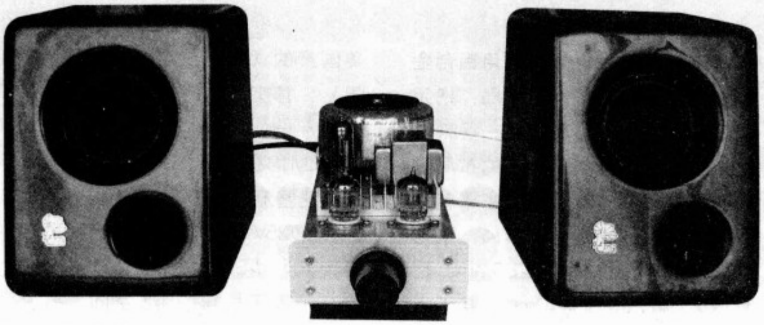


图9 阻抗曲线



迷你型胆石机制作5670+LM1875

◎晴风雨

新近购入一对3英寸小全频音箱，最大承受功率20W/4Ω，因无合适功放，这对小音箱一直闲在角落里。让这对漂亮的小箱子就这样闲着，有点不甘心，遂决定为其做台廉价小功放，考虑到箱子的承受功率及箱子的娇小体积，功放也要做得小巧才能与箱子搭配，功率有20～30W就行了，用IC足矣。本人在用IC做功放时喜欢用胆作前级，故决定做胆+IC的合并小功放。翻了翻自已的零件库，功放IC有LM1876、LM1875和LM3886，小胆管有6J1、6N1、6N2、6N3和5670，决定用5670+LM1875这个组合(5670看起来漂亮啊)，其他阻容元件也一应俱全，就差个变压器和机壳了。

1 电路简介

本机音频放大部分电路如图1所示，胆前级部分每声道由1个5670担任，5670为美国产的中μ双三极管，由其一半作电流反馈，共阴放大，另一半作缓冲输出，以更好地与LM1875连接，电压增益约为11倍。

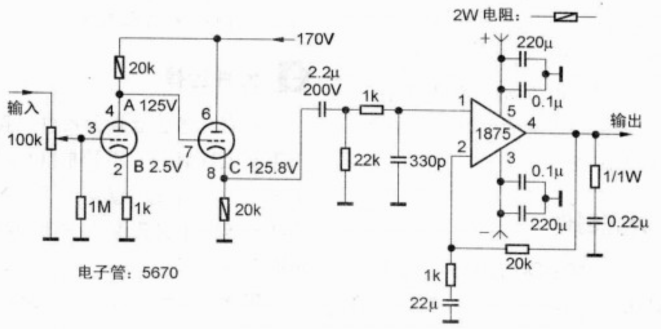


图1 音频放大线路图

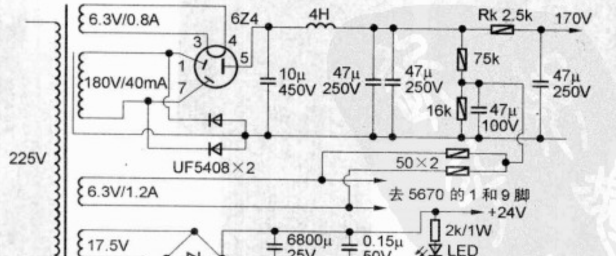


图2 电源线路图

从图中可以看出胆前级的电路非常简单，每声道电路才用了4只电阻和1只耦合电容，非常适合DIY。

LM1875基本上采用国半的标准电路，只是在输入端加了带通滤波电路，用于滤除超高和超低频率的信号，提高信噪比和防止自激。

本机电源部分电路如图2所示，为做这款功放，特意去订做了一个100W的环形变压器，其参数如图2所示。因高压为单绕组，且要采用6Z4整流作高压延，故用了两个高速整流管UF5408和6Z4组成全桥整流。至于整流效果，感觉还不错。高压整流经CLCRC滤波，给胆前级电路供电，胆前级的灯丝用交流供电，因只有单6.3V，为了抑制灯丝引起的噪声，灯丝电压由两个配对的50Ω/2W电阻（也可用100Ω/2W的电位器代替）连接，将灯丝电位抬高至32V左右。相对于胆前级电路的供电，LM1875的供电就简单多了。

2 外壳制作

对于一般的DIY者来说，最不容易的是做一个漂亮的外壳和布局，本人也不例外。本机外壳是用铝合金型材制作而成，先确定布局，把元器件往型材上摆，看效果。摆来摆去最终觉得如题头照片中的布局看起来最顺眼（如有合适的牛罩就更完美了），就确定这个布局。根据布局确定外壳的长度为280mm、型材宽为96mm、高为40mm。接下来就是钳工活了，按布局需要进行切割、钻孔、攻丝、打磨等。

因机箱小，背板无法安装4位音频输出座，故音频输入和输出均用RCA座，电源线也只用两芯的。外露的那块散热片尺寸为84mm×40mm×20mm，原想法是整体协调才往上装的，但没想到这机器发热还真大，即使这样开机1小时后机壳都热得烫手（整个机壳作散热）。

3 元件选择

没有刻意去选择元器件，都是用手头上现有的，不管是拆机的还是全新的，合适的就用上了，正好这些元器件的外形装入这个小机箱也很合适。

胆管6Z4为上海产的，5670为美国产的（可用国产的6N3直接代用），管座为国产普通品，低频扼流圈为4H/100mA。

LM1875电源整流使用的是ON的高速整流管U860，滤波主电容为6800μF/25V每声道。这个电容尺寸较大，为Φ35mm×80mm，两个电容几乎占了机箱的1/3空间。据说为飞利浦公司的，当初是见其“份量”很足，平均电流有效值在100Hz(50℃)处为7.3A，花了10元/对买下的，现在终于用上了，不知效果如何？退耦电容为ROE的220μF/25V。因整流滤波后的电压约为24V，故这两种电容的耐压再高些，效果会更好。

胆前级的滤波电容用的是西门子和ROE的。唯一的耦合电容采用的是美国electrocube的。

电阻采用的有国产的金膜、大红袍、飞利浦、DALE等，很杂!

4 电路板制作

电路板分两块制作，一块为电源板（图3），另一块为放大板，两块板的大小基本一样，约为90mm×75mm。电路板的布局要结

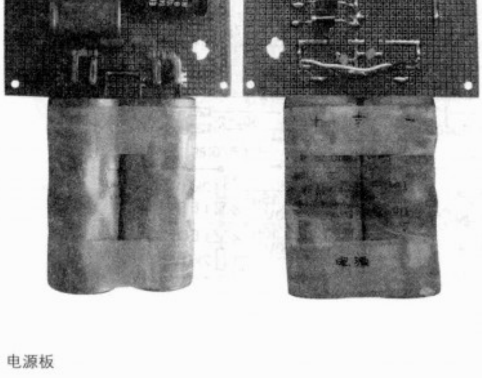


图3 电源板

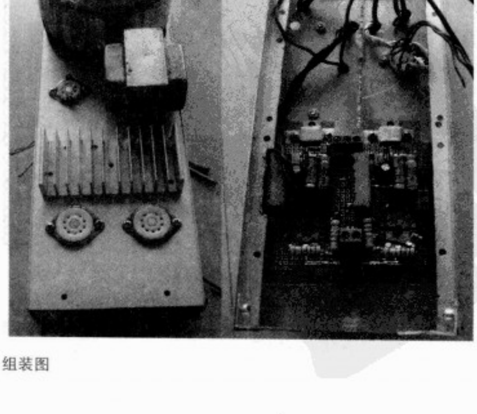


图4 组装图

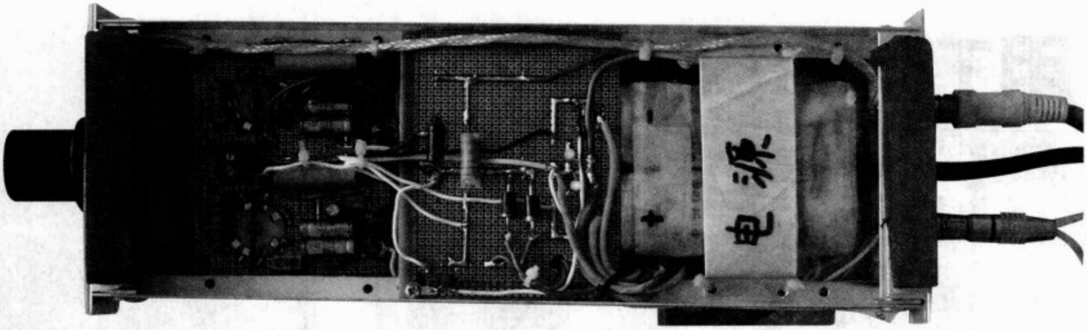


图5 完成内部图

合整机的布局来安排（图4）。电路用假双面多孔板焊制，因板面较小，元件排列较紧密，故布线上要花些心思。

5 组装调试

因机壳较小，组装相对较麻烦，如装好再拆就更麻烦，故力求一次成功。

先将管座、扼流圈、电源变压器（加3mm厚的垫片防震）固定在机壳上，并将线整理好特别是灯丝线一定要紧密绞合（图4）。将焊好的功放板装入机壳内、固定。将电源板装入机壳内，连接交流电源，并通电测试整流、滤波后电压是否正常（测试时发现使用的6Z4老化，整流后只有180V，更换新的后正常）。将电源接入功放板，通电检查有无异常并调整电阻Rk阻值，使高压输出为170～180V，同时测量A、B、C三点电压分别为125V、2.5V、125.8V左右即可。

先不接入信号，输出接上扬声器，旋转电位器，听扬声器有无异常声音。在测试时发现有“嗞嗞”声随电位器的变化而变化。将电位器外壳接地后噪声消失了。在不接入音频信号和音频线时，音量开至最大，要离音箱20cm才能听到轻微的“嗞嗞”声。输入音乐信号，声音出来了。接下来是安装前后面板，固定大电容，将连接线整理顺畅，高压地和低压地要通过1个0.1μF电容与机壳相连。机脚用两块90mm × 10mm × 15mm的硬海绵代替（图5中的黑色部分），用双面胶粘住，这样效果不错，平稳还防震。由于空间太小，因此未装扬声器保护电路，但此机的开、关机冲击声很小。

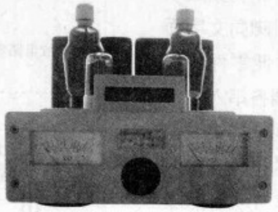
6 声音表现

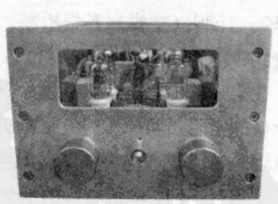
初听声音有些硬，过了一段时间后再与另一台6J1+6N3+LM3886对比，整体上LM1875比LM3886要耐听，声音更柔和，低频的厚实和下潜深度也比LM3886要好，但高频比LM3886要略暗一点。算算材料成本，也就200元左右，值得！

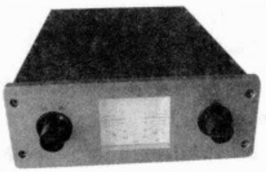
作 品 简 介

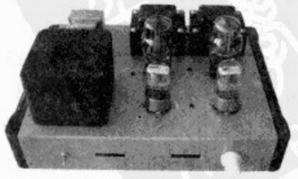
本人非电子科班出身，音响DIY只因喜欢！以下是我的作品：

6J1＋6N3＋LM3886，K1529/J200小分立，6P3P单端，FD422单端。









用TDA1554Q搭焊小型功放

◎沙伟航

一个偶然的机会从朋友那里得到一块原装的飞利浦功放集成块TDA1554Q。此集成块是用于四声道的功放，在每声道2Ω的负载下可以产生4×11W的功率，用BTL接法可以达到2×22W（4Ω），具有很高的保真度，很适合用于功率要求不高的场合，于是就决定制作一台用于电脑放音的小型功放。

这款小型功放的电路非常简单（图1），先将集成块的第9、15脚（空脚）齐根折断，再将其他引脚向文字面折弯约90° 角，并错开一定位置，这样可方便零件的搭焊。在实际的电路中，我在两个声道的输入端各串入了一个1kΩ的电阻，其原因是在之前的实验中发现，如果没有该电阻，在用输入电位器调整时会影响输出的电位。输入电容采用1μF可以得到更好的低频。由于此集成块有静噪功能，但在实际中一般都是直接关闭电源的，所以就将第14脚直接接在电源上。输入电位器也是使用进口的ALPS（20kΩ）品牌。此功放的两声道一致性好、无噪声，特别是体积小，很适合用于制作小型功放。

我使用的散热器是CPU上专用的，将其对半锯开（图2），经使用证明，在最大功率输出下连续工作半小时散热器表面也不超过60℃。

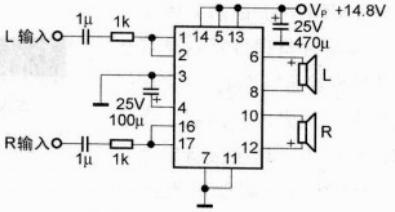


图1 功放电路原理图

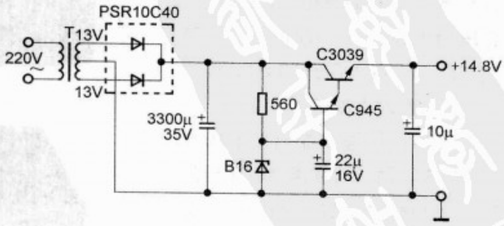


图3 电源电路原理图

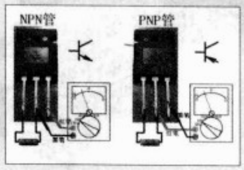
用普通MF万用表快速筛选配对晶体管

◎吴润照

在制作音响电路中经常要对晶体管进行配对，我在实践中总结出快速筛选配对晶体管的方法，现介绍给大家。

用普通MF系列指针式万用表的电阻挡位，PNP型晶体管的测量方法如图1所示，NPN型晶体管的测量方法如图2所示。在测大功率管时（如：MJL21193－94等），在晶体管的基极和集电极之间接1～4.7kΩ的1/4W电阻（普通5kΩ精密微调也可以）。在测小功率管时（如：C2240、A970等），在晶体管的基极和集电极之间接6.8～12kΩ的1/4W电阻（普通10～20kΩ精密微调也可以）。

筛选晶体管对管的技巧：测NPN晶体管时，万用表的黑表笔对应晶体管C极，红表笔对应晶体管E极（测PNP管时将两表笔对调），在被测晶体管的B、C极间跨接4.7kΩ电阻。调节4.7kΩ电阻，使万用表的指针落在电阻刻度5.5～100内，选择其阻值刻度一致的管子为对管。同极配对与异极配对方法相同。在筛选晶体管时，万用表的电阻挡中的×1kΩ和×10kΩ挡不能用，因为此处电阻挡的表笔的短接电流小于1mA（表笔的短接电流近似被测晶体管的I_C电流），所以用来筛选配对晶体管的挡位只能在X1Ω、X10Ω、X100Ω这三个挡位进行比较（用×1Ω挡，测试电流为150 mA，用×10Ω挡，测试电流为15 mA，用×100Ω挡，测试电流为1.5 mA）。



注：以上方法是以MF50/MF47型万用表为例，用X1Ω挡测量大功率管时，被测晶体管的I_C电流在100mA左右，跨接于被测晶体管子B、C极的电阻最好560Ω～2.2kΩ选取（普通2kΩ精密微调也可以）。筛选之前先测量PNP/NPN管的正向be结，指针最大的偏转刻度即可定出下限的刻度（5.5左右）这是为该挡测试的“配对极限电流值”，指针最小偏转为上限的刻度（100左右）。总之，万用表的指针一般会落在其电阻刻度5.5～100内。

此功放使用的大部分元器件都来自拆机件，在制作中最好使用稳压电路，这样对提高电源素质及信噪比有很大帮助。由于此集成电路从电源所汲取的电流不算大，稳压调整管一般有4A以上就可以。此集成电路是单电源供电，因此电源制作更为简单（图3）。使用了一只50W的高效率美国R形变压器（外皮及铁架已经拆除），双13V输出电压，用一个高速半桥做整流，3300μF/50V的电容滤波，再经由C945及C3039组成的稳压电路，输出不到15V的稳定电压提供给集成块。

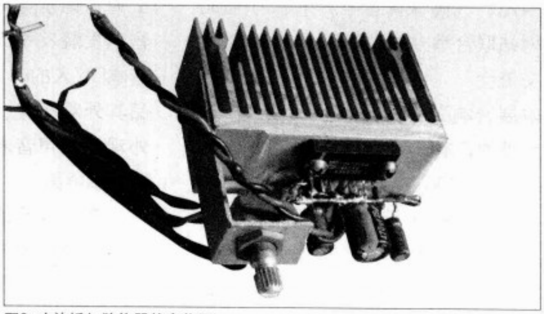


图2 功放板与散热器的实物图

功放的外壳是用木板跟胶合板制作的，虽然不太雅观，但对于机器的信噪无任何影响，并且还节省开支，整体布局还是很合理的（图4）。

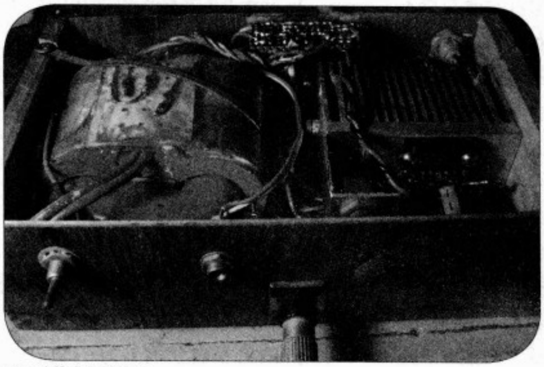
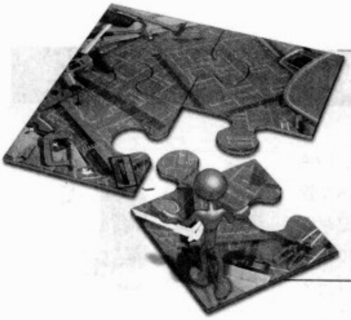


图4 功放内部结构图

经过一段时间使用，感觉用此集成电路制作的功放很耐听，是属于飞利浦那种一贯的较为清凉的音色，保真度很高，不接音源将电位器开到最大也听不到任何噪声，功率虽不算大，但用在小房间或是电脑上都已足够。使用的R形变压器还有一个特点，那就是效率高，音量开至一半连续工作8个小时几乎感觉不到有温升。

功放参数		
	电源电压单	14.8V
	输出功率	22W（4Ω，THD=10%）
	增益	26dB
	频率响应	20Hz~20kHz ,-1dB
	输入阻抗	30 kHz



2008年广州音响DIY交流会专题报道

◎本刊记者　邓晨

一年一度的“广州白天鹅音响唱片展”是国内音响圈中参展商家最全、参观人数最多的盛会，自然也吸引了众多音响爱好者的目光。今年在这个音响发烧友高度聚集的地方还有一个特殊的音响交流展示会也同时拉开了帷幕，这就是由《无线电》杂志、《高保真音响》杂志与hifidiy网站联合举办的“2008广州音响DIY交流会”。它是继今年5月在上海音响展音响DIY发烧友聚会之后又一次大型的音响DIY交流的聚会。

“2008广州音响DIY交流会”的会场位于白天鹅宾馆对面的沙面宾馆，有两个展厅，这样发烧友既可以方便参加白天鹅的音响展，又可以在一个宁静的环境中交流和试听。交流会是和白天鹅音响展同步进行的，为期3天。

广州电视台正在现场采访

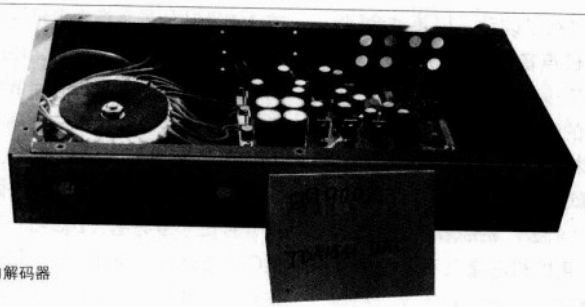
当我们来到沙面宾馆，迎面是醒目的宣传海报，两间展室里已放满前来交流的DIY作品，这些作品有CD机、解码器、前置放大器、功率放大器、电子管放大器、音箱等近30件。前来交流的不光是广东地区的烧友，还有广西、湖南、山西、上海、南京等地烧友。这些出自于音响发烧友手工制作的作品凝聚了音响DIY人的心血和性格，有很多作品其外观精美、制作精良，无论是外观还是声音表现，都可以与商品器材相媲美。

在第一天的采访中，给我印象最深的当属网名“中山阿惕”（大家都称他为老曹）制作的8英寸全频音箱。这款全频音箱的最大特点就在于其核心部件——全频扬声器单元。众所周知，全频单元音箱的低频和高频总是不如人意的，然而老曹亲手制作的这款单元完全改变了我们对全频音箱的印象，它除了中频出色、低频优秀，高频也恰到好处。据介绍，其频率响应

老曹的全频音箱

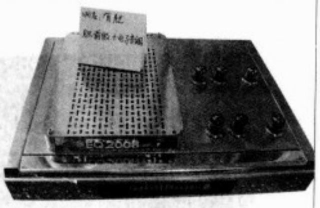
是40Hz～20kHz，这对于全频音箱而言是十分惊人的指标。现场很多发烧友都拥有老曹制作的全频单元，他们说，扬声器上的黄色音盆所用的纸浆完全是由老曹根据自己独特配方配制的。为了开发这款单元，他已经试验了5个版本，除了现场看到的版本之外，还有采用钴磁做磁体的版本和电磁铁做的励磁版本，据说效果更佳。不过就这次展示的版本而言，已经具有宽松、饱满的声音了，音乐中歌者的声线非常迷人，具有很强的音乐感染力。

好的音箱自然需要好的功放来

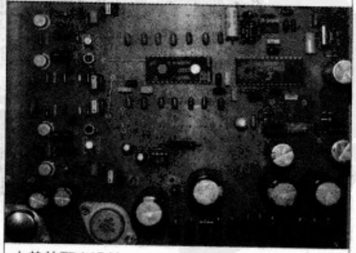

明9002的解码器

"heyj" 的CD转盘

"Liao228" 的电子管功放


"有胆" 的电子管前置放大器

HIFIDIY的硬盘播放器


小赖的TDA1541

驱动，老曹没有自带功放来驱动，现场采用的是“liao228”制作的单端电子管放大器。这款功放外观简洁、大方，机上所用的电子管都是经典的音频专用电子管——6SN7和6550，而电路主体来源于hifidiy网站上的“纯真之源2代”线路。此机内部采用了经典的“搭棚”方式连接，此种方法不同于现代印制线路板，较耗费时间精力，然后却能使声音空气感更靓。由于DIY不必计较生产效率，因此可以充分发挥这种经典做法的优势。“liao228”本人对所用的元器件也进行了严格地筛选，加之根据自己的理解对电路也做了修改，使得这款胆机具有全面、更细致地音色表现。用它推老曹的全频音箱，层次鲜明，有一种空灵感，颇有几分名胆300B的影子。这套搭配能有如此表现，想必也有一个良好的CD机作为音源。然而，令我大吃一惊的是，现场采用的音源并不是CD或LP这类载体，而是一种由hifidiy网站开发的新型硬盘播放器。使用者只需将事先准备的音乐数据存入机内的2.5英寸硬盘即可。这种2.5英寸标准硬盘的采用使得此机的兼容性和维护性非常好，也很容易获得大容量的存储介质，这对于听音口味较为“杂食”的朋友来说是一个福音，再也不必为了换碟而烦恼了。硬盘播放器不仅可以显示歌曲的序号，还可以显示曲目的名字甚至备注内容。关于它的音质表现，已经无需多言了，能够坐着静静地聆听就是一种享受。

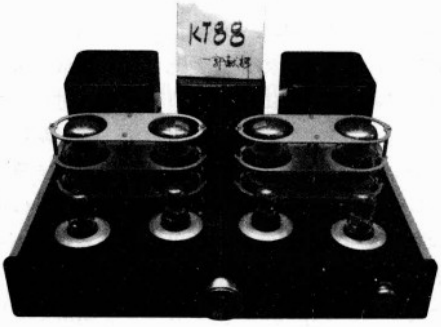
时间在美妙旋律的陪伴下飞快过去了，我马上又来到了另一个展厅，见到了更多网友送来的作品。有一款开着顶盖的CD转盘颇为吸引人，原来这是“heyj”制作的CD转盘，它采用飞利浦CDpro2机芯转盘。这个机芯是目前飞利浦还在生产的最高级的机芯，主要用于专业设备和进口高级音响。通过和“heyj”交谈了解到，此机电源部分采用了两级稳压电源对机芯进行供电，而且采用了电压检测电路，确保昂贵机芯的安全。在数字输出部分，直接从机芯DSP芯片引线取出数字信号送到数字板作整形和缓冲。另外，数字板上装有高精度温补晶振，取代机芯原来自带的时钟。最后的模拟输出部分采用了一块从LD唱机拆下的DAC成品模块，廉价但性能不错。DAC直接从CDpro2机芯的I^2S接口取出数字信号，减少了一般DAC需要的解调和接收部分电路，“heyj”本人认为声音会更好。有转盘，自然也有不少解码器，网友小赖就带来了他连夜制作的TDA1541解码。这款用最古老的方法制作的缓冲放大，采取直接方式，具有可调性、可玩性，为DIYer带了较多的摩机乐趣。无独有偶，另一位从广西赶来的爱好者“明9002”也带

来一款采用TDA1541制作的解码器，这款解码亦是“明9002”自己布线设计的，充分发挥了TDA1541芯片的特色，在之后的试听中，这款解码器音色也确实表现得温文尔雅、舒适宜人。

第一天的展示给人留下了深刻的印象，使我不禁对第二天和第三天充满了期待。果不其然，之后的两天又来了不少新颖的作品。展厅内的主持人首先介绍了一台前置放大器，它是由爱好者“工仔”设计制作的仿高文前级。这台前级的外观和瑞士高文的商品前级十分相似，只是尺寸略有变化而已，完成度非常高。机内的电路也和高文的电路相近，但“工仔”对它进行了改动，以更适合DIY制作。此机声音精致、透明，一开声就获得不少人的好评，既具有和高文相似的声音也具有个性化的音色，可以说是融合了个人特点和高文优点的一款优秀DIY作品。“工仔”除了带来了前级，还带来了他制作的CD转盘，用的机芯是飞利浦的顶级CDpro。制作上也是一丝不苟，和前级一样，都是精品之作。

在另一个展厅里，我还见到了网友“有胆”制作的电子管前置放大器，其特色是带有电子调谐。此展厅所用的音箱仍然是老曹的8英寸全频，而功放则换了另一款由“gxh829”制作的KT88电子管功放。这款功放采用推挽电路程式，前级采用阴极输入差分电路，后级采用超线性推挽电路。整机采用低频无负反馈的方式，改善了瞬态互调失真；高频部分采用大环路负反馈，拓宽了高端频响。同时，音源也做了更换，换上了爱好者“zgaogao”制作的CMD3转盘。CMD3是飞利浦较早推出的一款机芯，采用著名的摇臂光头。搭配的解码器是“YULONG”制作的DA1865，它采用了2只R2R结构的AD1865NK解码芯片，采用超采样电路结构，模拟部分采用分立元器件，数字部分和模拟小信号部分分别定做了金属屏蔽壳进行屏蔽。之后还换上了一款来自于爱好者“伟仔”

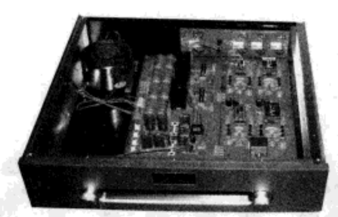
“工仔”的转盘



“gxh829”的KT88电子管功放

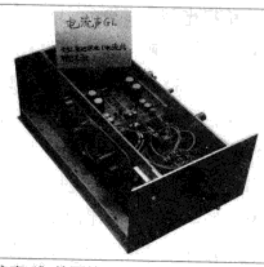
“zgaogao”的CMD3纯转盘

“YULONG”的DA1865

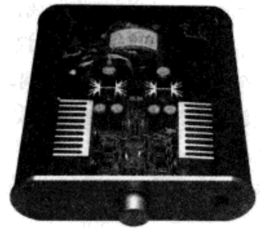


“工仔”的前级

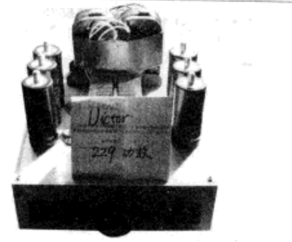
“伟仔”的转盘



“电流声gl”的耳放



“confucius”的耳放



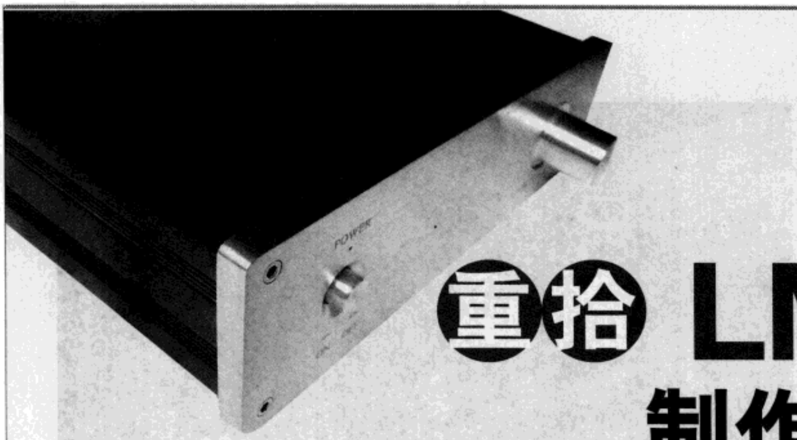
“hengkong”的229功放

“Cdream”的8分时并联DAC

的转盘，也是采用了飞利浦CDM摇臂光头，与这款发烧转盘配合的是“Cdream”制作的8分时并联DAC。它采用了8片WM8740解码芯片并联。所谓分时间并联就是几个DAC并联的时候，DAC输出的模拟信号不是同时出现在后级的LPF(或者IV)电路上，8个DAC输出的模拟信号是分8个不同的时间，顺序叠加上去的。这套组合对音乐的细节刻画和音场表现都有十分良好的效果。

正当我还在观赏开盖后的“8分时并联DAC”时，主持人又换上了另一款功放，这是由“hengkong”带来的一款229功放。趁“hengkong”本人就在现场的机会，马上采访了他，在采访中了解到此机居然也是采用“搭棚”连接制作，所用元器件都是经过仔细挑选的，特别是采用了金属封装的功率管。229功放一开声就把大家都吸引住了，它的音质十分纤细，而且有一种十分接近现场的自然感和宽松感。它能够让人忘记音响器材的存在，全身心地投入到音乐的世界中去。据主持人的介绍，此功放虽是3W的小型甲类功放，却有着出人意料的驱动力，十分大气。听罢这款出色的229功放，我又回到第一间展厅见到有几个网友正带着耳机欣赏音乐，他们欣赏的是爱好者“电流声gl”带来的全手工耳放和“confucius”制作的耳放。“电流声gl”的耳放采用的是充电电池供电，背景异常宁静、声音清澈。这是用5块冲孔板制作的纯手工耳放，采用可调增益控制音量，全无环路负反馈电流传输结构；“confucius”的耳放采用了网上流传的著名Zen电路，声音富有韵味。在制作中，“confucius”又根据实际情况对电路做了改动，增加了DC稳压供电，并且还进行了仔细的调试。

来参展的作品还有很多，都是音响爱好者多年DIY的心血和精髓，可惜相聚的时光总是令人感到非常短暂，很多作品无缘一一仔细聆听，很多朋友感慨万分、意犹未尽……在hifidiy网上我们看到：12月的11日，广西南宁地区音响DIY交流会也开始了，12月27日广东省的东莞地区的音响DIY交流会也热火朝天的筹备着，有兴趣的朋友可千万别错过呦！



重拾LM1876制作小型功放

◎语蓝

笔者是个业余音响发烧友，有时间就喜欢自己动手DIY音响器材，如解码器、前级、功放、音箱等，乐此不疲。对于音响发烧友来讲，基本上都经历了从DIY集成元件功放到DIY分立元件功放的过程。现在多数多媒体音箱生产商采用集成功放来作为多媒体音箱制作的首选，因为它所需的外围元件少、调试简单、价格便宜，因此，集成功放芯片也是在发烧友手中最常见的元器件。

目前市面上常见的集成功放芯片有美国国家半导体公司的LM系列、意法半导体公司的TDA系列等。笔者尤其喜欢LM系列，因其功率较大、指标优良，还有完善的保护电路。从实际听感来讲，也是十分讨好耳朵。目前在发烧友中比较流行的LM系列芯片有较早的LM1875、LM1876、LM4766以及较新的LM3886、LM4780，这几款芯片的技术指标请参看附表。

一 设计思路

由附表可见，较新的IC功率大，指标也好。笔者前后试用过上述几款芯片，尤其钟爱LM1876，虽然其功率是上述几款芯片中较小的，但作为家庭音响使用也已足够。因为普通家庭房间也就20m²左右，而且多数时间是在中等音量下听音。因此需要制作一款体积小（例如小型功放，多媒体音箱打磨升级，驳接书架音箱的功放等），发热量小，音色出众的功放，非LM1876莫属了。

笔者打算DIY一个驳接6.5英寸书架音箱的小型功放，选择LM1876芯片，打算采用“前级+后级”的主体构架。前级负责小信号电压放大和音量控制，考虑到制作的方便，决定用曾经称之为运放之皇的NE5532运放做一个简单的正相放大电路（图1），而功放电路决定就采用官方的标准电路结构（图2）。电源变压器采用100W环形变压器，双24V交流输出。为了给电路提供一个稳定、高质量的电源，电源电路采用LM317和LM337构成的有源伺服稳压电路，并且用A1943/C5200大功率对管进行扩流，以供功放使用（图3）。因为电源是功放系统的心脏，是提供动力的源泉，所以电源上的设计绝不能马虎。因此笔者抛弃了常用的简单整流滤波电路，而不惜下重本在电源电路（在整套系统中，电源是笔者投入最多的部分）。

二 电路分析

1. 前级电路：从图1可见，音源信号从输入端口进来，经过50kΩ的电位器进行音量控制。4.7kΩ和2.7kΩ电阻的比值决定了前级的放大倍数，此处增益为4.7kΩ/2.7 kΩ+1≈2.7（倍）。1μF耦合电容和47μF的电解电容应选择质量好的，耦合电容也可以用2个质量好的电解电容同极串联为无极性电解电容，这样的效果也很好。运放的4、8脚需要分别接100μF的电解电容并联0.1μF的CBB电容到地线退耦，以提高电源质量，减小干扰。电阻均选用高精度0.25W金属膜电阻。运放可以选用运放插座，那样还可以更换不同的运放，以得到不同的音色和更好的

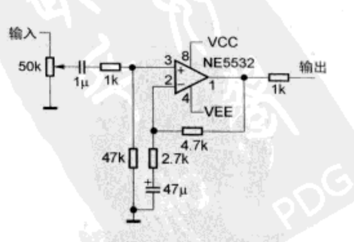


图1 前级电路

附表

	电压范围 |VCC| + |VEE|（V）	总谐波失真+噪声 THD+N	转换速率 SR	增益带宽 GBWP	最大功率
LM1875	16~60	0.08% (|VCC| = |VEE|= 25V 平均功率20W 负载8Ω)	8V/μs （20W、8Ω 70kHz BW)	5.5MHz (f_0=20kHz)	单30W
LM1876	20~64	0.08% (|VCC| = |VEE|= 20V 平均功率15W 负载8Ω)	18V/μs (V_{in}=1.414rms T_{rise}=2ns)	7.5MHz (f_0=100kHz V_{in}=50mVrms)	双20W
LM4766	20~78	0.06% (|VCC| = |VEE|= 30V 平均功率30W 负载8Ω)	9V/μs (V_{in}=1.2rms T_{rise}=2ns)	8MHz (f_0=100kHz V_{in}=50mVrms)	双40W
LM3886	20~94	0.03% (|VCC| = |VEE|= 28V 平均功率30W 负载8Ω)	19V/μs (V_{in}=2.0Vp-p T_{rise}=2ns)	8MHz (f_0=100kHz V_{in}=50mVrms)	单68W
LM4780	20~84	0.03% (|VCC| = |VEE|= 35V 平均功率30W 负载8Ω)	19V/μs (V_{in}=2.0Vp-p T_{rise}=2ns)	8MHz (f_0=100kHz V_{in}=50mVrms)	双60W

音质。

2. 功放部分：图2所示功放电路是官方的标准电路（只给出一个声道电路），集成功放的电路形形色色，无论简单还是复杂，但为何笔者就选择了官方标准电路？因为笔者认为，官方标准电路是能够稳定与高性能兼并的一个理想电路。常见的简单的电路有可能精简了官方电路的部分元件，笔者认为这样并不妥当，这样可能会使电路工作状态不稳定，而一些复杂的电路，又有画蛇添足之嫌，处理不当，反而会使声音不好甚至无法正常工作。这就是为何许多朋友虽然做过了各种集成功放电路，总觉得不耐听的缘故所在吧。

简析图2所示的功放电路。前级输出信号经LM1876的输入端口输入，这里采用了直接耦合，是为了得到更加纯净的音乐。增益为20kΩ/1kΩ+1=21（倍）。47μF的负反馈电容同样需要用高质量的电解电容。输出部分的4.7Ω电阻和0.1μF的CBB电容串联组成了茹贝尔网络，可防止电路自激振荡，使功放稳定工作。而10Ω电阻和0.7μH电感并联则起抑制扬声器反电动势，提高负载能力的作用（笔者认为，这部分电路和茹贝尔网络在制作中是不可省略的）。在实际制作中，10Ω电阻选择3W以上的电阻，电感可以用1mm线径的漆包线在5mm左右螺丝刀上绕15圈，然后将电阻穿过电感，一起焊接在PCB上即可。其他电阻可以用0.25W或者0.5W规格的。在LM1876的正负电源脚上需要分别接100μF的电解电容并联0.1μF的CBB电容到地线退耦。LM1876有2种封装，T结尾的是不绝缘的，制作的时候注意在其和散热器之间加上绝缘片，并在

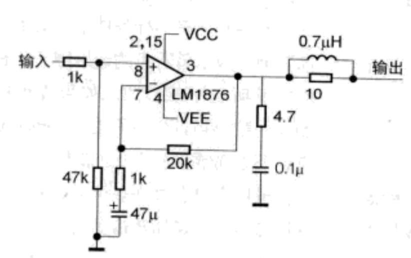


图2 功放电路

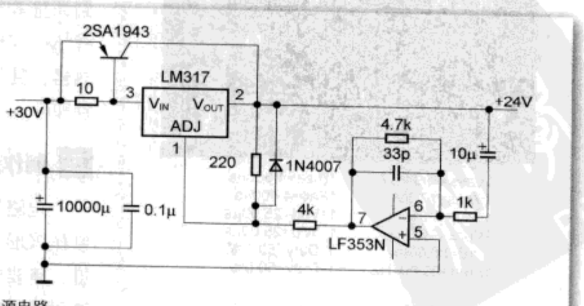


图3 电源电路

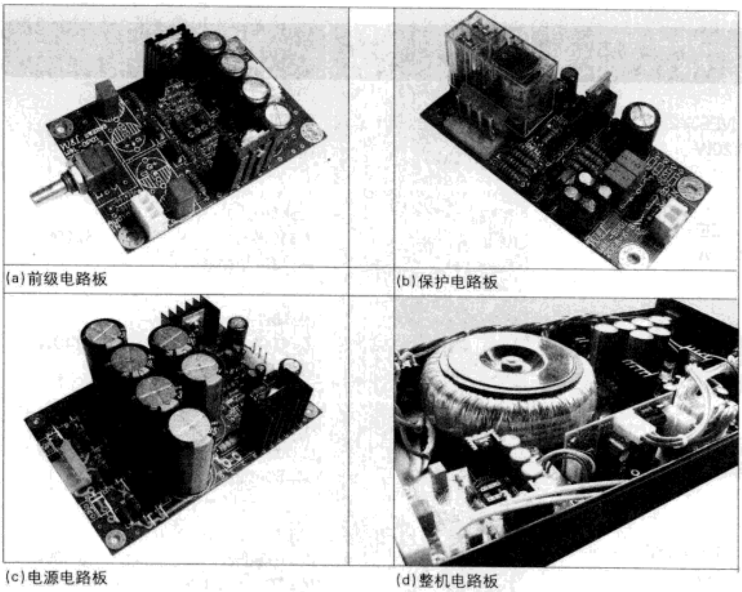


图4 制作好的实物图

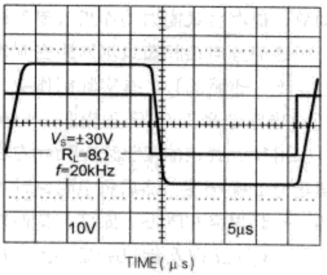


图5 官方公布的测试结果

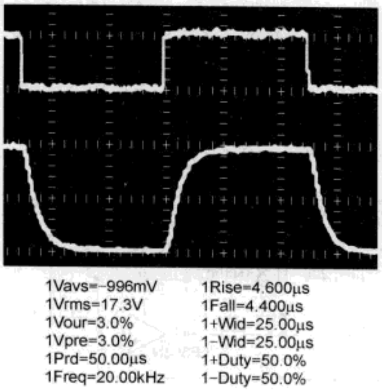


图6 整机方波测试结果

绝缘片正反面涂上适量的散热硅脂，加强散热。

3. 电源部分：电源电路如图3所示，这是松下的有源伺服电源电路。由于篇幅所限，只给出了正电源部分，负电源电路和正电源电路基本相同，不同的是需要将LM317换成LM337，2SA1943换成2SC5200。在这里2SA1943大功率管起扩流作用，需要加适当散热器并绝缘。与2SA1943相连的10Ω电阻需要用1W或1W以上规格的电阻。LF353N的第7脚所接4kΩ电阻可以用高精度微调电阻代替，在此起到调整输出电压的作用。同样LM317也需要外加一个散热器，其他元件选择正品元件即可。

三 制作过程

电路设计完成后，就是制作PCB了。PCB布线是关键，需要考虑到很多因素，这里就不做详细探讨。笔者在设计的时候考虑到模块化结构和安装与调试的方便，就设计了4块PCB。分别是有源稳压伺服扩流电源、运放前级、LM1876(兼容LM4766)、扬声器保护板。输入的交流电压经过电源部分整流稳压后，输出双24V直流大电流供电给功放，前级（板载LM7X15系列稳压电路），扬声器保护板（板载LM7812稳压电路）。虽然LM1876有完善保护电路，但笔者还是给它加上外接扬声器保护板，这样一来可以防止芯片损坏而烧毁扬声器，二来可以利用扬声器保护板的可显示状态的LED作为整机指示灯。由于目标是小型功放，因此，选择了某款全铝小型功放机箱，铝壳还可以给LM1876和A1943/C5200 当散热器，一举两得。各个PCB之间均使用接插件进行连接，十分方便。制作完成的外观如图4所示。

整机安装调试完毕后，笔者特意对整机进行了方波测试，以检验设计结果。图5所示是官方公布的在20kHz，8Ω负载、供电电源为±30V的情况下方波测试效果图。可见其上升沿和下降沿均有4μs左右的延迟。图6所示的是实做整机的方波测试结果。在上升沿和下降沿也分别有4.6μs和4.4μs的延迟。可见，此整机的整体性能还是达到了官方公布的LM1876应有的水准。

有好的技术参数，才有好的声音效果。实际听感也验证了整机的不俗性能。高、中、低各个频率段的整体表现平衡，接电脑声卡输出（播放APE格式音乐文件），在同样条件下，听到了以前其他功放未曾听见的音乐细节，长时间的聆听也不感心烦。如果你也打算制作一款小巧且性能不俗的Hi-Fi功放系统，不妨考虑LM1876这款集成功放芯片！虽然它已走过许多年头，但至今仍在许多中档多媒体音箱上见到它，也在DIYer中流行甚广。用心去做，相信你也能发挥出它的潜能！

高保真“可变声道”功放初探

◎吴刚（武汉）

一 成熟的Hi-Fi功放

Hi-Fi功放的设计已经很成熟了，从20世纪70年代的OTL、OCL、BTL发展到现在的DC、CL的主流电路形式，各种电路模式应有尽有，其间出现过风靡一时的ALA、误差前馈、电流倾注式电路，也有至今依然生机勃勃的常青树，如：CASCODE电路、电流反馈等，这些技术已运用到炉火纯青的地步。如今高档Hi-Fi功放不仅电路设计优秀，在电源用料、元件精选、制作工艺等各项细节上也是很讲究的。在设计制作功放时，如果仍在这些“传统项目”上重复挖掘，很难得到新收获，为何不把视野放开一些呢？为此，笔者作了新的尝试，研制了一种“可变声道”的高保真功放。

现在的功放属于“固定”声道放大器，如Hi-Fi功放是两声道，家庭影院功放是5.1或7.1声道，SACD、DVD-Audio需要六声道Hi-Fi功放。由于成本和结构的限制，现有功放把某项性能发挥到极致，不可避免的放弃了其他性能，很多商品机是综合多方面因素妥协的结果。我的想法是在元器件用料变动不大的情况下，制作出结构新颖的功放，这不仅要求有高超的Hi-Fi性能、优美动听的声音和精准音场的定位，同时要求集多种音色风格于一体。这款功放可享受甲类、甲乙类、双功放分音（BI-AMP）、六声道高保真等多种玩法，能完美表现CD或SACD音乐，还能轻松播放家庭影院效果，性能这样全面的功放如何制作呢？

二 我的新设计

1. 一种高精度的放大电路

先看看一种电流放大电路（图1），这是一种0dB增益电路，它采用共基极放大器直接耦合，后接达林顿电路，其中VT1、VT2是共基极放大管，同时也是偏置管，偏置管VT1、VT2分别与输出管VT5、VT6紧贴在一起，直接控制输出管的温度变化，实现准确的温度补偿。R1、R2、R3、RP1是偏置电阻，调节RP1可以改变输出管的工作点，R4、R5是反馈电阻。

初看，这个电路与日本洼田登司0dB增益电路（图2）有几分相似，不过差别也很明显：洼田登司电路是采用电容耦合音频信号，电容有隔直作用，使输出端中点电压不受前级电压放大器影响，放大器的音色及低频下限主要依靠电容的品质和容量。偏置管VT1对输出管做温度补偿，输出中点电压由R4、R5分压决定，改变R4、R5比值可将中点电压调整为零，但中点电压的漂移仍然明显。

新型的电流放大器是用三极管直接耦合，低频延伸很好，而共基极级联方式的高频特性很好，放大器的工作频带很宽。电流放大器输出端的中点电压主要由前级电压放大器决定，调节R1、R3比值可微幅修正中点电压，在实际电路中（图3为参考图）靠调节RP2改变中点电压，共基极放大管VT1、VT2的工作电流一般取6~11mA，由起恒流作用的三极管VT7、VT8提供。反馈电阻R4、R5的作用在于抑制电源电压波动及VT3、VT4的参数变化造成的偏压改变，降低驱动级的输出阻抗，使输出管的静态电流更稳定。

这个电路做成功放很简单，在前

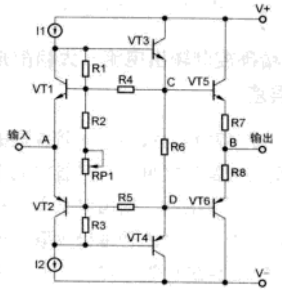


图1 共基直耦放大电路

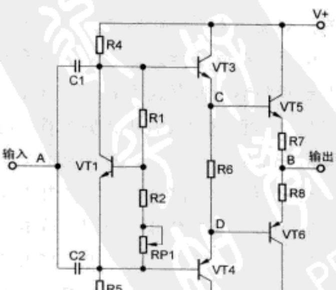


图2 日本洼田登司0dB增益电路

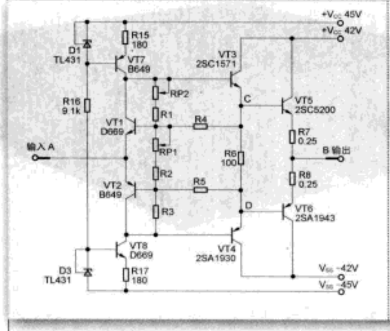


图3 高精度电流放大器

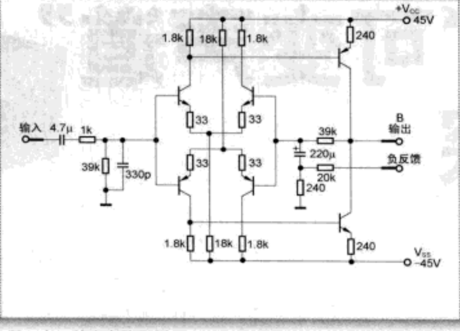


图4 电压放大电路示例

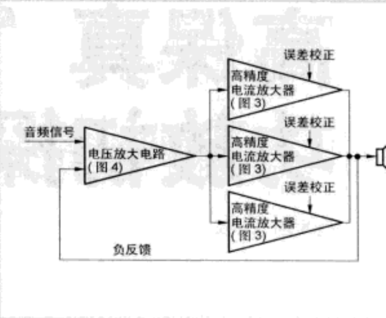


图5 新式Hi-Fi功放原理框图

面加个电压放大级就行了。比如加个NE5532、OPA2604之类的运放，就可以做成简洁的小耳放了。要做大功率的功放，可采用分立元件的放大电路，这类电路的种类非常多（图4）。如果做甲类功放，多并几对输出管，将静态电流调大点就行了，但这么做并没用到这个电路的长处，我的方法是将多个电流放大器并联输出。

2. 精确控制输出电流，大幅削减并联误差

很多高档功放中，多管并联的达林顿电路是最常见的，多管并联电路对元件要求很高，输出管都需要精选配对，并且在输出管基极串联均流电阻，才能使输出管电流更均衡。在达林顿电路中一般只有一只偏置管，不能对每只输出管做单独的温度补偿，各输出管的实际工作温度是有差异的，即使功率管已经精确配对了，静态电流仍然有差异。采用多个电流放大器并联输出情况就不同了。首先，VT1、VT2既是放大管也是偏置管，与输出管紧贴在一起，使输出管VT5、VT6都有专门的温度补偿管，再加上反馈电阻R4、R5的作用，可以准确的控制静态电流。其次，每个电流放大器可独立调节（RP1）输出管的静态电流，不受其他输出管的影响，即使输出管配对参数稍有误差，也可以将静态电流调成相同值。通过调节RP2可将中点电压的差异调节为零，再加上功率元件的配对措施，可将输出管的静态电流差异控制在极小的范围内，使多管并联变得更精确。由于每对输出管都有专用的驱动管，一对驱动管只推一对输出管，驱动管的负载比达林顿电路轻多了，驱动管可工作在线性更好的区域，有利于减小失真。至此，一台新颖的Hi-Fi功放电路清晰地展现出来（图5），这种功放可用多个电流放大器并联输出，输出电流大、线性好，具有精确的误差校正功能。电压放大部分与现有功放无差异，可任意使用现在流行的全对称、电流反馈等各种电路，只要将达林顿输出级换成高精度电流放大器就可以演变出众多的花样。

3. 关于高保真“可变声道”功放的设想

新式的电流放大器只有一个信号输入端和一个输出端，可方便接成并联输出，当然也能单独工作。上述的高保真功放由2个电压放大器+6个电流放大器（每3个并联）构成的。如果再加4个电压放大器，并且“1拖1”的独立工作，不就成了六声道功放吗？

这个想法有点夸张，但的确可行，只要增加几个信号切换继电器就可以做成二/六声道的高保真功放了（图6）。当继电器全部置于“2ch”时，每3个电流放大器并联成1个声道，总静态电流、最大输出电流和总耗散功率都是单个电流放大器的3倍，很容易做成高性能的双声道甲类功放。当继电器置于“6ch”时，功放成为拥有6个独立声道的纯功放，每个声道有1个电流放大器，静态电流只有并联时总静态电流的1/3，输出管工作在甲乙类状态，每个声道都采用相同的Hi-Fi电路和元件制作。

如果这样的功放能造出来，甲类、甲乙类、两声道、六声道都可用这一台机器统统拿下了？听CD、HDCD、SACD、DVD-Audio都不用换机器了？这想法一下子成为我DIY的动力。虽然这种结构是前所未有的，有很大的制作难度，但我想试试，看能不能造出声道数可以变化的高保真功放。

三 高保真“可变声道”功放的制作

从原理上分析很清楚，用软件仿真也没发现问题，实际制作却不那么轻松。制作成熟电路很容易，有大量的资料和名机做参考，而制作新电路一切都要从零开始，遇到的问题往往是未知的，时常令人一筹莫展，因此研制过程采取了循序渐进的策略，先做出简洁可靠的“样机”，待完全掌握了这种结构的声音特点后，再用最

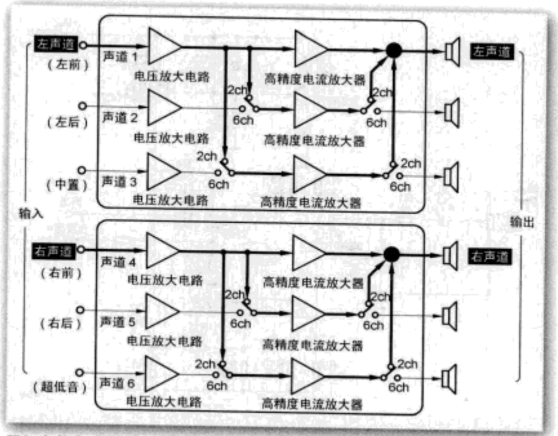


图6 高保真“可变声道”功率放大器原理框图（二/六声道）

流行的放大电路追求完美。经过漫长探索，最近终于DIY出比较满意的样机。

1. 外观、结构、布局

机箱是邮购的PRA-800合并式机箱，外形规格：435mm×400mm×150mm，外露铝散热片尺寸：380mm×140mm×32mm。

内部布局：采用模块式设计，中间6个模块是6个电压放大器，两边是电流放大板（每板含3个电流放大器），正中间的是垂直安装的控制电路。左上边是环形变压器，右上边是电源板。

由于音量电位器只能安装在右前方，根据弱信号尽量远离强干扰区的原则，采用从前向后的布局，音频信号由弱到强。在放大模块前部和音量电位器附近信号最弱，放大模块后部和输出继电器部位是强信号区，而左后方环形变压器的周围是干扰信号最强的地方，离右后方RCA信号输入及右前方音量电位器距离最远，这样布局可大大减少噪声和干扰。

2. 各PCB板的功能和设计

全机的电路板分为主板、电流放大板、电源板3大部分。

主板上又装有电压放大模块和控制板，电流放大板是由驱动板和功率输出板组成的，大大小小共有20块PCB板。主板的功能有点像电脑主板（图7、图8），主板上主要是音频信号、控制信号和电源的布线，并安装继电器、电解电容、散热器等体积较大的零件，这样设计后，电压放大模块内全是小零件，模块板简单多了。采用模块式设计后，模块下方的主板面积可以100%的用于布线，信号线可以用最短、最直接的方式布线，电源线可以做得很宽，大大减少了干扰和噪声，实际收效好过用多层板。

电压放大模块（图9）：模块分上下两个部分，上面是盖板，主要起装饰和屏蔽作用，既美观又可提高信噪比，下面板才是电压放大电路，设有输入、输出、反馈、电源线、地线连接到主板上。

电压放大模块设计了好几种电路，先安装的是其中一种简洁的OCL电路（图10），由“两级差分”+“恒流源”构成，第一级差分管和恒流管采用2SA970低噪声对管，每个差分管工作电流1.5mA，第二级差分管采用2SC2705，第二级恒流管采用的2SA1145，工作电流约8mA，电阻采用5环金属膜电阻，小容量电容以威马和汤姆逊薄膜电容为主，音频相关电路上采用日本化工音频专用电解电容，其他部位采用红宝石电解电容。

6个声道的电压放大模块完全相

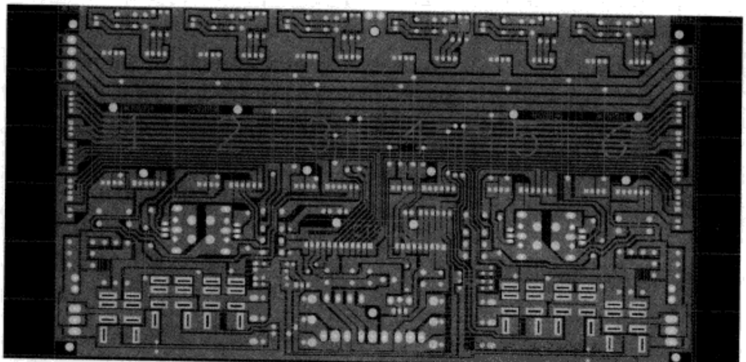


图7 主板的PCB板图

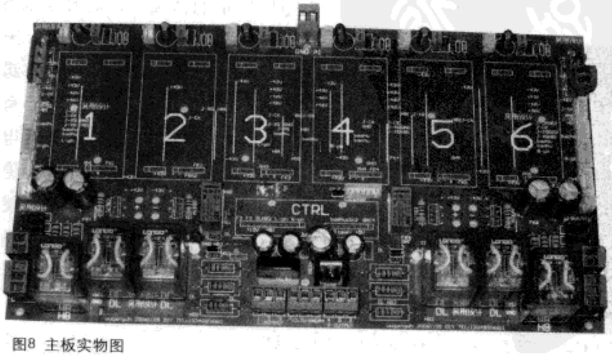


图8 主板实物图

同，一种放大电路只需要设计一张PCB图。想玩不同的电路很容易，直接更换主板上的电压放大模块，像电脑换CPU一样方便，不用换功放就可以玩不同电路的音色了。样机先用最简单的OCL放大模块，主要是想听听这种电流放大器真实的声音特点，而复杂的电压放大电路容易掩盖这些特点。简单电路元件少、信号流程短，元件素质对声音影响很明显，对元器件和调试要求很高，但元件少也带来了易于配对的好处，可将所有模块的元件精确配对，保证每个声道性能一致，都达到Hi-Fi水平。而部分高级AV功放也能兼顾Hi-Fi效果的，实际上只是加强了主声道的用料，这样易造成主声道和其他声道的音质差异，对声音的平衡感带来不利的影响。

电流放大板（图11）分驱动板和功率输出板，每一套电流放大板上都有3个电流放大器，安装偏置管、恒流管、推动管和输出管各有3对。偏置管和恒流管均采用B649和D669，推动管采用2SC1571和2SA1930，输出管用的是比较常见的东芝管 2SA1943、2SC5200，配对要求不算太高。每只偏置管都与相应的输出管紧贴在一起（图12），然后用同一颗螺钉安装在散热器上，实现准确的温度补偿，使输出管的静态电流非常稳定。

在本机中共有 6个电流放大器，当作为双声道高保真输出时，左右两边每3个电流放大器并联输出，最大输出电流可达到30A以上，成倍提高了输出电流和带负载能力，可轻松推动低阻抗扬声器。若将每对输出管电流调到800mA以上，3对管总静态电流达2.5A，可保证8Ω负载60W的甲类状态。由于机箱两侧散热片不大，实际电流调节为360mA×3时，散热片温度已达到42℃，甲类状态只能做到15W以内。

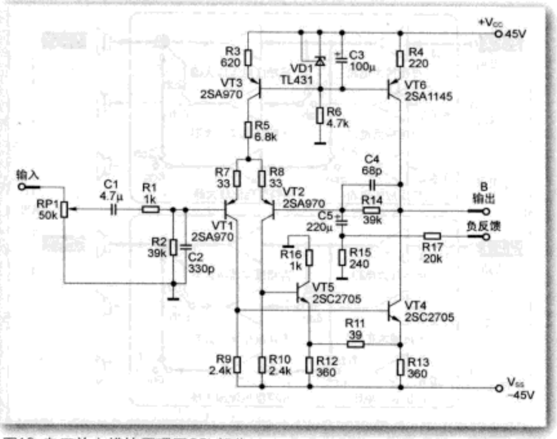


图10 电压放大模块原理图OCL部分

电源板（图13）电压分为2组，功率输出级电源（±40V）和电压放大级电源（±48V）。功率输出级电源，由650VA环形变压器供电，50A桥式整流，共使用6个10000μF/50V滤波电容。

电压放大级电源：±48V采用2个10000μF电容，没有采用常见的稳压电源，而是使用有源滤波输出，输出电压为±45V。调整管基极的低通滤波电容达到2200μF，调整管输出端滤波电容达到4700 μF以上，有很好滤波、储能作用。调整管两端的电压差很小，只有3V，在220V市电欠压时，有源滤波器输出端电压也随之降低，仍可保持正常工作，而串联稳压电源在输入电压不足的情况下，调整管很容易饱和，失去稳压和滤波作用。有源滤波器电路简洁、稳定性好，使功放容易调校出自然柔和音色。

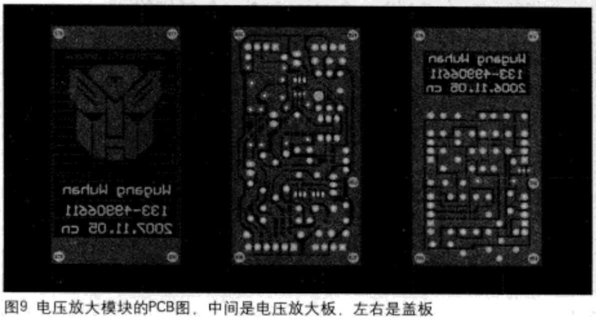


图9 电压放大模块的PCB图，中间是电压放大板，左右是盖板

控制电路垂直安装在主板中部，控制电路是功放的大脑，由控制芯片、控制软件和外围元件构成，全机的保护电路，输入开关，信号切换继电器都与控制电路相连，由控制程序来实现复杂的信号切换和保护功能，最后推动少量的优质继电器执行切换动作，不影响音质。控制电路元件很少，简单可靠。

音量控制使用的6联音量电位器，电阻值为50kΩ×6。

四 性能指标和实际听感

安装无误后功放可以正常出声了，这时的功放只能算“毛坯”，接下来的调校过程才是最耗时间的。先粗调，逐个消除DIY机最容易出现的通病——稳定性差、噪声大、音质个性差异大。基本问题解决后，再进行精细校声，找台声音满意的名机作为“参考标准”，反复修改样机一点一滴地向参考机的声音靠近。经过数月的校声后，简单的 OCL电路放出的声音也很令人惊讶，居然和参考机（甲类、全对称电路、电流反馈）的声音相当接近。功放的噪声也控制得较好，音量开到最大时，耳壳要贴近扬声器振膜3cm内才能听到很轻微的白噪声，无交流噪声，6个声道都如此。校声前初步测试样机的

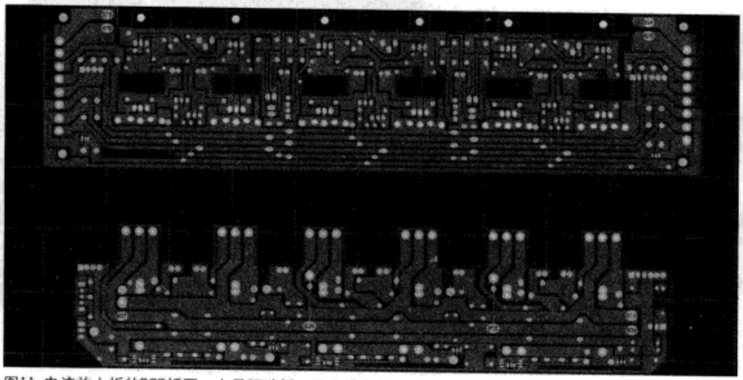


图11 电流放大板的PCB板图，上是驱动板，下为输出板

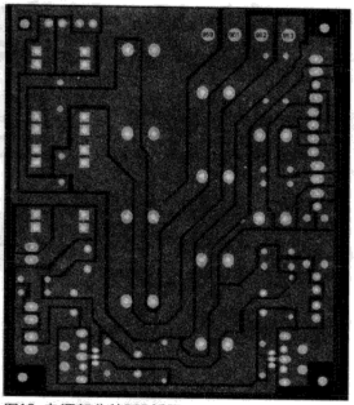


图13 电源部分的PCB板图

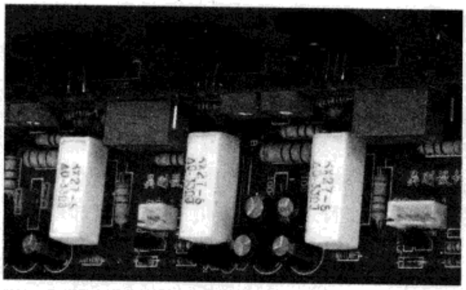


图12 偏置管与输出管紧贴在一起的实物图

指标如附表所示。

从测试数据可以看出，多个电流放大器并联输出的失真率大大低于独立输出状态，并联时输出特性也很好，8Ω时66W，4Ω时120W，很接近阻抗减半功率倍增的理想性能，噪声也降低了不少，性能改善非常显著。

下面进行试听,实际试听搭配了原创CD-A9 Ⅱ CD机和丹拿contour S3.4音箱，先听左右2个主声道单管输出模式：高音精致细腻，分析力很高，低频沉稳有力，中频纯真，质感较强，很适合弦乐类的音乐。与其他器材对比起来，整体上的感觉功放的声音很干净，低频控制力稍弱，音色属于中性，不像对比的全场效应管功放高频量感突出，也不像另一台名牌甲类功放温暖醇厚的音色。切换成2声道甲类模式（并联输出）：低频力度明显增强，控制力绝佳，低音弹性十足，中频饱满圆润，高音清澈透明，声音完全脱离了音箱，现场感舞台感很明显，人声表现得生动自然，莫非是精确电路发挥功效了？不过也观察到与甲类功放相似的现象，需开机半小时以上才能达到最佳音效。

这台样机与现有Hi-Fi功放有很大不同，除了可以听高电流甲类功放的声音外，还有很多玩法，可切换成单管输出的甲乙类功放，可接成双功放分音（BI-AMP）方式，动手能力强的发烧友还可加电子分频前级，组成电子分频功放，玩出不同的声音风格。Hi-Fi玩累了，接上带解码的DVD或HTPC，可享受“原汁原味”方式的高清影院……音质更好的SACD机还没试呢！

经过精心调校后，每种模式的声音都很好听，各具特色。单管甲乙类输出声音清纯，弦乐质感强；多管并联甲类输出，声音温和厚实，丰满润泽；双功放分音方式时，音场开阔力度充足，最好根据音乐特点和个人喜好选择合适的模式。而制作样机的主要材料与现有的Hi-Fi功放没有差别，同样的输出管（6对东芝管），同样的环牛，同样的机箱和散热器，只是改进了设计方法就得到了丰厚的收获。

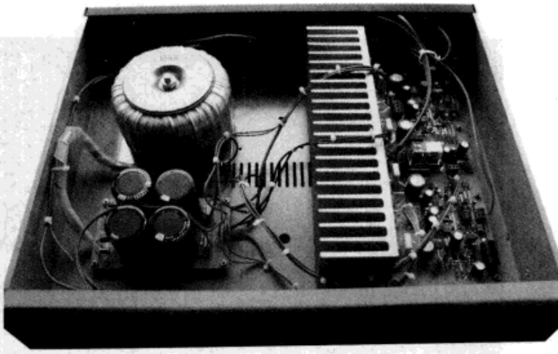
五 总结与思考

样机的性能指标和音质效果都符合当初的设想，这次尝试已初战告捷。回头来看，Hi-Fi名机的电路形式多种多样，其实主要变化在于电压放大级和反馈方式的不同，而电流放大级大多是达林顿电路。经过多年的制作，对经典电路已很熟悉，这次改变一下习惯，将功放的电压放大和电流放大级设计成相互独立的两个部分，通过高精度电流放大级的组合使用，克服了现有功放顾此失彼的弱点，制作出音质更好、玩法更丰富的Hi-Fi功放，体验一次充满新奇感的焊机过程。Ⓦ

附表

	并联输出状态	独立输出状态
8ΩRMS功率	66W（小于15W为甲类）	60W
4ΩRMS功率	120W	——（大于20W过流保护启动，不支持六声道4Ω）
频响	10Hz～50kHz（±1dB）	10Hz～50kHz（±1dB）
失真（8Ω负载）	0.06%	0.3%
噪声	1mV	1.4mV
输入灵敏度	760 mV	730 mV
散热器表面温度45℃（室温27℃，左右主声道4Ω负载120W持续30分钟）		

一款为书架箱设计的“胆味”晶体管功放



◎魏涛

渴望有一套在独处看书时的音响系统，要求其音色既让人陶醉，又不干扰阅读。但是能达到这个标准的功放不是价格昂贵，就是听音成本太高（甲类机耗电量大、电费高），选择普通功放又达不到发烧要求，为此，笔者依据自己多年的发烧经验调制出一道价廉物美的“私房菜”。

一 电路特点

这是一款为书架箱设计的晶体管功放，电路如图1所示，电路架构为2级差分和3级达林顿组成的大环路电压负反馈放大线路。这是再传统不过的电路了，与目前比较流行的全对称电路相比较，这个电路的设计是专为书架箱而设计的。我们知道，偶次谐波失真在全对称电路中是被抵消掉的，但不悦耳的奇次谐波就只能靠降低放大器的总谐波失真来抑制。全对称的放大电路声音比较清淡，味精味少，加之业余制作困难，管子配对要求高，做得不好的话，发出恶声是常有的事情。权衡利弊，全对称架构的电路不是首选。最佳的电路是两级差分电路。在一般情况下，这个电路出来的声音是不会难听的，因为它的偶次谐波失真没有被彻底消除掉，听感上自然会好点的。著名的瑞士高文（GOLDMUND）功放、国内的新德克功放的实际电路架构就是两级差分放大。在实际听音中，两级差分电路的功放的中音表现一般不错，而低音量感和下潜度却常常表现平平，高音的柔顺度也不佳。为了提高声音的下潜度、力度及高频的柔顺度，笔者专门增加了一级预推动，这就形成了本电路的两级差分加三级达林顿的结构。本电路后经实际聆听，声音基本达到了设计的要求。

实际上，本电路的特点不是在架构上，而是在三极管元件的搭配和电路补偿的使用上。笔者酷爱制作功率放大器，对常见的三极管对音色的影响很有一些个人心得。在元器件的选择上既要考虑元件的电气特性，又要发挥不同管子的音色优点。要像按病配药方一样，合理进补，取长补短，最终达到音质的平衡完美。

在本功放中，输入级差分管选用的是国半的NPD5565孪生场效应管，该管子的特点是声音密度高、整齐、稳重，胆味浓，缺点是缺少灵动感，有些木讷。选用它可提高整个电路的输入阻抗，不必像使用一般场效应管（K30、K246、K170）那样进行配对，也不用担心末级中点漂移严重。

在电压激励级的差分电路里，选择了MPSA42/MPSA92这对三极管，参数为MPSA42 NPN 300V、0.5A、0.625W；MPSA92 PNP 300V、0.5A、0.625W。这种管子是为电话视频放大设计的，放在音频电路使用却发现声音松香味足，高音泛音十分顺耳，声音有一种跃动感，特别是当静态电流大于6mA以后，高音和低音表现很好，低音松软，高音丰满，难怪很多欧美名机里面都能找到它的身影。而相同封装、管脚排列一致的准音响管2N5551、2N5401,声音表现却是干、冷、硬，让人失望。笔者感觉，在大部分放大电路中，只要有MPSA42/MPSA92的参与，都能增加声音的灵动性。唯一的缺点是中音偏薄、密度感稍差。在本电路中，把它们放第一级恒流源中，在第二级放大中也担任“主角”，就是为了弥补输入级NPD5565的声音木讷感、增强声音的活泼感、提升高音的泛音、加强低音的松软性。

电流放大部分是采用三级达林顿放大，预放采用的三极管（VT12、VT15）是东芝的A1145和C2705。这对管子的声音特点是中音厚实、有点鼻音的感觉、高音柔美、有点偏暗、音乐味很好。放在这里作为预推动就是为了弥补前面两级的中音厚度不够，中和、收敛一下前面一级的MPSA42和MPSA92的活泼劲。

推动级的管子采用的是东芝的A1306和C3298，该对管子给人的感觉是声音很全面、有动态、大气、音色平衡，对于整个功放的声音有把握全局和“收官”的功效，只是，当静态电

流大于15mA后才有上述表现。笔者在这里曾试验过安森美(ON)的MJE15030和MJE15031，感觉声音虽然贵气，但底气还是不足、不够全面和均衡,而最要命的是，声音没有定位，不知道歌手是站在哪里演唱，同时还感觉到，特征频率低的一些管子（TIP41、TIP42、A940、C2073）用在这里中音表现得很浑厚、音乐味十足，其缺点是稍微少了一些华丽和细节。

末级电流放大的大功率管子可选择的管子有很多，试用过一些管子后，感觉还是老版东芝的2SA1302和2SC3281的音色比较好，在中、高音的衔接上，这个管子的连贯性很好，总体音色温暖，低音量感和下潜也很不错。笔者曾将该管子用2SC5200、2SA1943代替，低音马上悬在空中，高音稍微张扬了一些，最终还是倾向选择前者，只可惜这对管子已经停产很久了，新货难寻，不过制作中使用拆机品对声音也没有多少影响。

值得一提的是安森美的MJL4302A和MJL4281A，这可是目前比较火的音频大功率对管，笔者试接上后，觉得眼前一亮，那是一出声就能抓住人耳的声音。音色细腻、华丽，特别是高音和低音表现优秀，只是中音稍微平淡和薄一点儿，声音的现代味浓烈。经过权衡，还是换回了老古董管东芝的2SA1302和2SC3281。

说到这里，我突然想到发烧友常说的管子代换问题。如果只是把电路弄响，没有自激，其实并不难，只要参数（如耐压、放大倍数等）接近，问题不大，但是，要想正经八百做出一台音色优美的放大器，每个管子的使用肯定是要有讲究的。在某些时候功放的音质在外行听来差别不大，但是如果你玩音响时间长了，经过长时间地聆听，那一点点的差别也许就会成为你更换功放的理由了。

小电容使用也是本电路的一大特点，全机使用了较多1000pF以下的小电容，这些电容主要作用是低通滤波和相位补偿。相位补偿，拉开了各放大部分的极点频率，保持了电路的稳定，改善了整个电路的相位失真，更重要的是使声音圆润，增强了真实感，避免了晶体管机刺耳、生硬的声音。

在近年的实际制作中，笔者感觉对声音耐听程度影响最大的就是相位超前补偿或滞后补偿的使用。现在有些文章中对这两个补偿的使用存在着误区，认为只要经过示波器测试，电路不自激就行了。其实如果认真听音，你就会发现，对于一个常规的电压负反馈电路，使声音耐听的补偿电容只有一个确定的数值。本电路中的C22电容是担任相位超前补偿。部分烧友认为要想电路高音亮点就要减少其值，要想高音暗点就要加大其值。有的烧友还通过调整数值大小来改变声音的“速度”。笔者经过反复对比试听，认为减少超前补偿电容，听起来高音是亮了很多，细节丰富了，但是聆听时间稍长，就会感到疲劳。加大超前补偿，高音好像变暗，收得很快，细节少了很多，有点揪人心的感

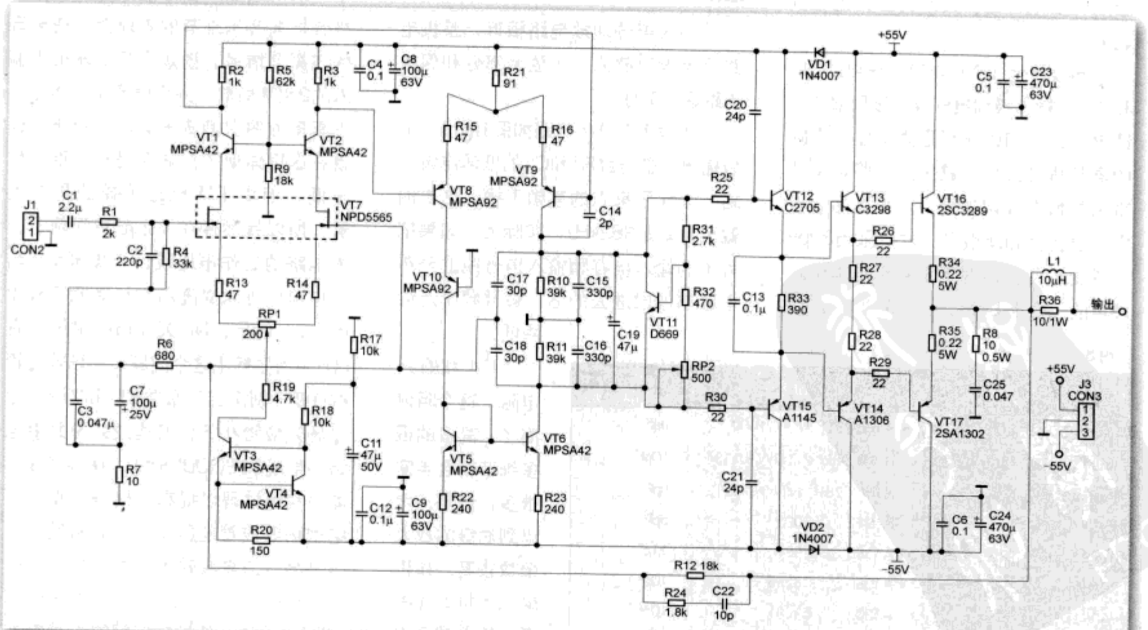


图1

觉，声音同样也不耐听。就本电路来说，正确相位补偿是超前补偿电容为8pF（超前10pF减去滞后2pF）。其实判断补偿正确与否是很简单的，放一段吉他音乐，听听吉他弦是否为刺耳的钢丝声，如果有，那么这个电路相位补偿就不合理。想想看，你在现实中哪曾听到过这种刺耳的吉他声，就是再廉价的吉他也不可能发出这个声音。在最佳的声音效果上，补偿电容应该是“增之一分则太长，减之一分则太短”。

另外，在电路中使用不同型号的三极管，相位补偿也会随之变化。这使我联想到发烧友仿制名机为什么声音不好的缘由，一个重要的问题就是找不到原机管和原机的PCB板，只是对人家的电路生搬硬套地模仿。其实某种补偿功能已经在PCB的铜箔上完成了。就本电路来说，改变末级功率管，要想声音和谐，其超前补偿电容就要进行调整。附表所示的是笔者调换的末级大功率管和推动管组合所对应的补偿电容值。大家看看，也可以试试。

再谈其他几个小电容的作用。C17和C18是输入级和电压放大级局部负反馈电容，它们的作用是降低整个电路的高频瞬态失真，避免大环路负反馈带来的瞬态互调失真，加大这两个电容，声音会圆润很多，本机采用30pF时感觉最佳。这两个电容也是本电路校声的一个重要手段。C20和C21这两

附表

推动管	大功率管	C22（超前补偿）
MJE 15030、MJE 15031	NJW3281、NJW 1302	9pF
MJE 15030、MJE 15031	NJW 21193、NJW 21194	10pF
MJE 15030、MJE 15031	NJW 0281、NJW 0302	9pF
MJE 15030、MJE 15031	A1943、C5200	6pF
MJE 15030、MJE 15031	A1380、C3296	11pF
A1837 、C4793	A1380 、 C3296	10pF
A1837 、C4793	A1302 、 C3281	10pF
A1943、C5171	A1302 、 C3281	6pF

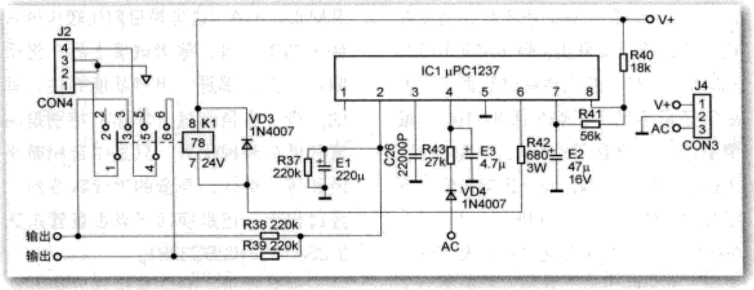


图2

个电容的作用是相位滞后补偿，主要是消除电路的密勒效应。如果电路没有自激，一般可以不加，加上后会限制放大电路的频宽，但实际试听时却发现它们对音色是有影响的，当取值24pF时，声音比较圆润点。C15和C16的作用是为电路提供一个固定的相移常数，这样既稳定了负反馈又保证了输出的动态效果，同时改善第二级的高频输出阻抗，实际加上后，中高音区的层次感变得比较清楚，声音的毛糙感下降了。

二 电路原理

与大部分功放电路相近，整机电路分为电源部分、主放大部分和保护电路这三部分。

主放大部分的电路如图1所示，前级输出的信号经R1和C2的低通滤波电路，消除了串入的高频干扰，这里的截至频率是362kHz，实际上，如果把管子的输入电容和输入信号线的分布电容都考虑进去的话，截至频率还会降低。

R4为输入电阻，这个阻值高了，高音的很多细节就会丰富很多，但是，考虑到后级的放大倍数较高，如果输入阻抗太高的话，输入耦合电容感应进来的交流“哼”声就会十分明显，而且直流漂移对输出中点也会有较大的影响，经过权衡，取值33kΩ比较合适。

输入级无可厚非的选择了场效应管输入，我们知道，场效应管的噪声是非常低的，噪声系数可以做到1dB以下。现在大部分的场效应管的噪声系数在0.5dB左右，这样输入级的静态电流就可以增大一点，提升声音的厚度，提高声场的空间感，而不用担心噪声的增大。其次，场效应管输入阻抗高且输入阻抗随频率的变化比较小，对前级输入信号的损耗减小，这样会提高音乐细节的表现力，使声音的还原度增强。场效应管的输出为输入的2次幂函数，失真度低于晶体管，失真多为偶次谐波失真，“胆味”也就在这里体现了。缺点是配对难，耐压低，但由于本电路选择的是孪生管，所以就不存在什么配对问题了。本电路的工作电压设计为±55V，高供电电压可以提高动态和降低三极管的C_{ob}，但是，NPD5565的耐压只有50V。为了解决这个问题，在场效应管的D极分别串上三极管VT1和VT2，通过场效应管和三极管构成共源共射电路，组成CASCODE形式，使高频放大能力和线性得以提高。根据一般JFET结型场效应管电压变化失真特性，电压过高，失真会较大，最佳的电压控制在10~15V，本电路通过合理安排R5和R9的阻值，使场效应管的V_{ds}控制在

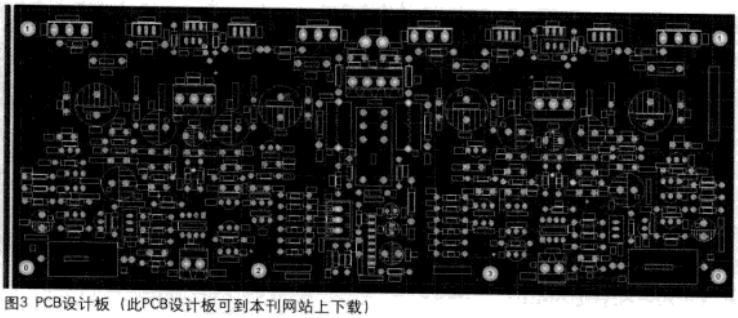


图3 PCB设计板（此PCB设计板可到本刊网站上下载）

12V以内。

VT3和VT4构成了第一级的恒流源，由于主要是从听感上考虑的较多，所以第一级的电流较一般功放的输入电流稍大一些，设计为2mA。由R20的阻值控制这级静态电流的大小，那么流过VT3的静态电流就为4mA，R20的阻值就为0.6(V_{be})/（2×0.002）=150（Ω），通过微调RP1可以使输出中点电压控制在±1mV以内。

电压激励级为单端差分镜像电流源电路，以较大的放大倍数保证有良好的动态效果。电路中的VT10构成共基电路，通过这个管子组成平衡电路，使两侧差分的电流一致性得到提高，这一级的静态电流设计为6mA。第一级的R2和R3的直流压降作为第二级差分输入管VT8和VT9的偏置电压，第二级的静态电流主要由R21阻值大小来决定的。由于R2和R3的直流压降为2V(1kΩ×2mA),而且VT8和VT9的射极电阻为47Ω，那么R21=[（2−0.6）−47×0.006]/（2×0.006）≈93（Ω）,取其最接近的标称值为91Ω。R10和R11在这里主要是调整音色，这个电阻对声音影响很明显。取值较小时使声音动态压缩、中高音层次感好，较大时使声音动态好，但明显感到中高音分离，需要反复试验，本电路最后定为39kΩ。

电路中的VT11和R31、R32、RP2构成了电流放大级的偏置。这个电路选取的是下偏置，下偏置就是三端可调电阻接在了偏置管的B、E极间，下偏置的好处是在可调端失效时只能使偏置电压变小，避免上偏置可调端失效后烧毁后级大功率管的后果。为使RP2阻值被调到最小时也不致烧毁大功率管，电路中用R32串接RP2。

输出级采用三级达林顿式，这种形式有更高的输入阻抗和更低的输出阻抗，有较大的动态范围和足够的推动力。这种驱动形式在专业扩音机上被大量采用，实际上，两级达林顿式输出已有了足够的推动力。但实际聆听上感觉三级达林顿的表现向两端的延伸性很好，低频下潜突出，高中低搭配比例合理。而两级达林顿仅突出了中高频，低频量感觉偏少一些。

VT12、VT15为预推动级，分别使用的是C2705和A1145，该管子的静态电流设计为6mA。在实际使用中发现，该管子在静态电流大于8mA后声音发粗、噪声增大，所以取6mA即可。由于VT16、VT17的V_{be}电压为0.5V，VT13、VT14的V_{be}电压为0.6V，所以，R33的电阻值为2×（0.5+0.6）/0.006=367（Ω）,实际上取值为390Ω，让这对管子（VT12、VT15）电流稍小点为好，实测电流是5.5mA。

推动级由VT13和VT14组成,这对管子为东芝的C3298和A1306，很多著名功放都使用这对管子作为推动管的。这对管子的封装形式为TO-220F自绝缘塑封。安装在散热片不用绝缘垫片，这给业余制作带来了方便。笔者在制作功放的历史中，曾经几次都是因为将TO-220封装的中功率管金属面和散热器无意短路而烧掉了大功率管。为了提高声音质量，这一级的静态取值比较大，达到了20mA。静态电流大小是由对管的射极电阻（R27和R28）来决定，这对管（V_{be}=0.5）的射极电阻定为2×0.5/0.020=50（Ω）。为了后面安装调试的方便，把这个电阻平分成两个22Ω。从这两个电阻中间可引一个输出中点，见图1。

末级的大功率管是东芝的2SC3281和2SA1302，这对管子在当年好评如潮，这里就不多介绍了。设计静态电流为30mA，末级的射极电阻可以在0.1Ω和0.47Ω之间进行选择。取值小的话，对提升动态有好处。取值大可增强整机的稳定性，也可降低对大功率管的要求。权衡利弊后，取值为0.22Ω。

输出级后面是茹贝尔网络，由R8和C25组成，补偿扬声器阻抗，使得扬声器在全频率范围内接近纯阻抗。提高稳定裕度，预防自激。有些功放不加也能工作，但在特定状况下可能会出现自激，比如瞬间过载、功放温度过高、音箱线过长等。茹贝尔网络后面的电感主要是抑制扬声器的反电动势对放大电路的影响。

本放大电路反馈是大环路电压负反馈，放大倍数有27倍左右（1+R12/R6），尽管大环路负反馈声音会比较紧，但是，只要经过仔细调校，声音也会十分优美自然。另外，为了增

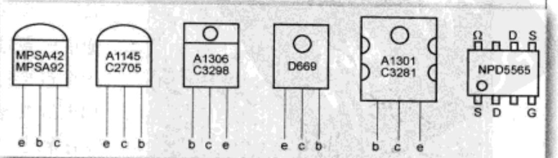


图4

加这个电路信噪比，运用了“浮地”技术，所谓“浮地”就是用一只小阻值电阻接在信号“输入地”与“负载地”（“电源地”）之间，使两者对“信号地”悬浮起来，只要浮地电阻大于负载电阻，就可以避免输出大电流回路的寄生信号串入输入端的回路，提高放大器的抗干扰能力，R7为本电路中浮地电阻。

VD1和VD2主要作用是减小电流放大级电压波动对电压放大级的干扰。

电源电路为普通的二极管整流滤波电路、正负电源共用4个10000μF/63V滤波电容和2个0.1μF/250V的CBB电容，有2个电阻为关机的泻放电阻，分别取值为15kΩ/1W。

保护电路选用的是很经典的μPC1237保护集成电路，见图2。取消了大功率管的过流保护功能，并且根据本后级的电压特点，修改了几个电阻的参数，具体原理可以参考官方文件。

三 安装和调试

1. PCB部分

为了容易制作，决定把两个声道和保护电路做在一块PCB板上，并且把所有大功率管、中功率管，以及温控偏置三极管放在了一个安装面上，这样有利于整个电路的热稳定性。考虑到元件的数量和电路的复杂度，为避免单面板的跳线就做成双面板。双面板实际大小为260cm×10cm。PCB见图3。

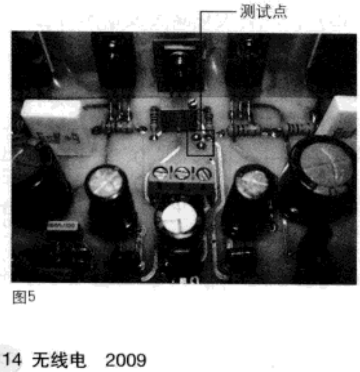


图5

2. 元件选择

本电路对元件的选择是比较讲究的，特别是有源器件的选择。VT1、VT2、VT3、VT4是MPSA42，现在市面上有较多的品牌，只要β大于80就行，建议不选择KSP开头的A42和普通A42。

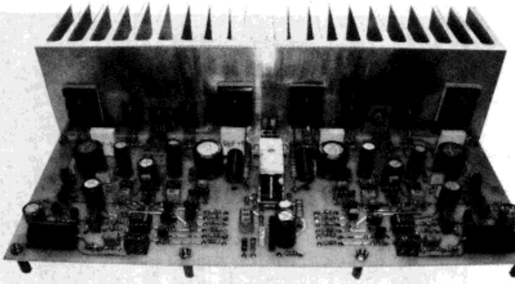


图6

VT7是DIP8封装的NPD5565，与8脚运放（NE5532，AD827）封装一样，现在市场上很难找到新货，大部分都是拆机接脚的旧货，不过，好像也没什么影响。理论上用NPD5564代替NPD5565要更好，因为NPD5564孪生管一致性要更好。VT8和VT9是这个电路中唯一要求要配对的管子，在业余条件下，同极配对相对容易一些，只要两个MPSA92的β值大于150，误差不超过5%，V_{be}近似相等即可。VT10、VT5、VT6没什么特殊要求的，只要管子是正品并与前面第一级的要求接近就行。VT12~ VT17理论上要进行配对的，但由于条件所限，没有配对。笔者随意拉郎配焊上去的管子，也没听出有什么不妥，但这几个管子最好还是选取β值高的。电阻的选择没什么要求，只要是5%金属膜就行，毕竟金属膜的噪声要小一些。如果条件允许的话，用DALE电阻，飞利浦5色环电阻效果会更好。笔者一直认为电阻在电路中对声音影响最小，事实上我选择的是国产某品牌，声音也很好。这里要注意的是电路中有几个电阻要注意左右声道的配对，否则，会造成声像混乱，他们分别是R4、R6、R24。当然用上1%精度的电阻，配对过程就可以免了，这样的话，不但两个声道的一致性就很好，整个电路的电气指标也会提高。在电容的选择上，退耦电解电容和0.1μF的CBB电容，只要耐压和容量够，用什么品牌的都没问题。所有的小电容可采用瓷片电容，瓷片电容的高频十分优秀，当然，用银云母电容替换相位补偿中几个瓷介电容，高音似乎更细腻。电路中只有几个关键的电容对声音影响还是实实在在，所以这些电容的选择还是不能太随意。耦合电容C1一定要用发烧点的CBB电容，对地反馈电容要用Elna Similc系列的，这种电容出来的声音最迷人，“胆味”最足，只可惜，目前市场上的假货太多了。RP1和RP2要用国产优质的3296型多圈电位器，这两个可调电阻关系着功放工作点的稳定，不能因小失大。L1用0.8mm的漆包线在直径6mm圆柱上绕12圈就行了。

电源上的整流二极管，选电流大于6A的就行，当然，用快恢复二极管，似乎更能满足发烧的心理要求。大电解电容对声音的影响还是有的。笔者用的是日本nichicon牌容量10000μF/80V大电解电容，出来声音也中规中矩。

3. 焊接调试

元件选好后，就可进行焊接了。由于双面板焊盘两面导通，这样焊接元件面和焊接反面引脚面都行，一般我们习惯焊接反面的引脚面。先焊接电阻，电阻在焊接时要用万用表核对其阻值，然后和板子的PCB位置要对应好，特别是该电路的每个声道有8个22Ω，6个10Ω，部位不同的，功率大小不一样的，焊接时要特别注意。然后是焊接电容，焊接好电阻和电容这两种最多的部件后，就可焊接三端可调电阻，电感和二极管了。在焊接用于调节静态

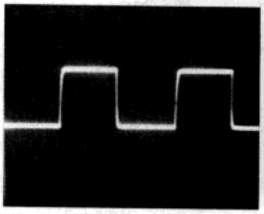
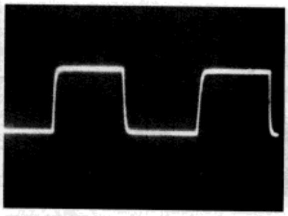
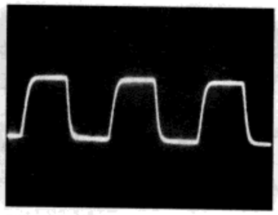


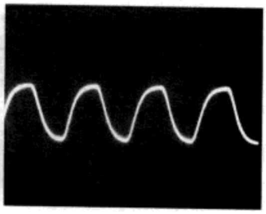
图7 1KHz测试波形



10KHz测试波形



20KHz测试波形



50KHz测试波形

电流的三端可调电阻RP2时，要注意调节阻值大小的螺丝方位，螺丝的位置设计在右侧，这样当顺时针旋转螺丝时，等于调大了静态电流，符合我们的操作习惯，在焊接电感L1时，要把铜线上的漆刮干净。

焊接完上面的阻容件后，就可以焊接三极管了，同时也进行最重要的一项工作——电路调试。电路调试要采用先分级，后整体的调试方式。即先调通各级，再对电路整体调试。

先焊接输入级的MPSA42和NPD5565。他们的脚位见图4。NPD5565不建议使用IC插座，万一接触不好，可能会损坏后面的功率管，直接焊上最保险。调试输入级时先把NPD5565的两个G端对地短路,通电后测量R2、R3上的电压为2V就行；焊接第二级的MPSA92和MPSA42，这对管子的脚位是相同的，测得R22和R23的电压为1.5V左右，代表第二级基本工作正常；接着焊接VT11、VT12、VT13、VT14、VT15这5个三极管，把输入端的地短路去掉，再把VT13、VT14的两个三极管的射极电阻中点焊盘和输出端焊盘短接，这两个焊盘在PCB设计时候就已经做在线路板上，就是为调试所设计，直接用焊锡点住就行了，见图5。这时整个线路就是一个完整的负反馈放大器了，这级调试前还要给推动的中功率管装上小散热器（这个一定要注意），然后上电，测量输出中点对地电压。正常情况下，应该不超过±150mV，用小螺丝刀调节RP1的旋钮，让输出中点降为±5mv 范围内，然后调节RP2，使两个大功率管的B极焊盘的电压为0.95V，如果前面做下来没什么问题，基本上这个电路就算正常了，可以放心地上大功率管了。

接下来就可给散热器打眼、攻丝、安装功放板了。本机采用的是长260cm、高80cm、翼长50cm的E形铝散热器，见图6。担任本电路散热是没有什么问题的，当然，如果需要加大末级静态电流，就要更大面积的散热器了。确认没事后，就可焊接大功率管、偏置管、推动管了。功率管垫上绝缘导热垫片，还可以涂点导热硅酯，用螺丝将其和散热器固定，在最后的整体调试中，最好用螺丝刀把三极管的安装螺丝再紧固一次，并在正负电源上各串上一个8Ω/3W的电阻，这样可以避免烧掉大功率管，对本电路来说，可能感觉不到有多大好处，如果是几对管，这个电阻可能拯救一排大功率管。通电后，听变压器是否出现短路所发出的特有“嗡嗡”声，摸电阻是否很烫。如果烫，电路可能焊接有误；如果不烫，焊开短接的焊盘，量输出中点电位，如果有漂移再调节RP1，直到最小为止，笔者的实际电路可以调到表针纹丝不动。顺时针旋转RP2，测量大功率管的E极和输出之间的电压，达到6mV即可，这样末级的静态电流接近30mA。

保护电路μPC1237的调试，首先要先接对电源。μPC1237有一个脚接的正电源电压，一个脚接整流前的交流电压，接错后保护电路不工作的。接好电源和地线后，通电后继电器3秒内应该吸合，吸合后用万用表的电阻最小挡位测试功放输出端和地，这等于给功放的输出端加上了直流电压，这时继电器应该断开。如果以上都很顺利的话，基本上就可以大功告成了。

4. 装箱

机箱布局如题图所示，这样安装符合我们当初设计PCB的尺寸要求，让变压器的漏磁对放大电路影响最小。变压器选择的是双38V的300W环形变压器。电源的功率容量对声音在大动态的表现有一定的影响，作为2×80W的功放，采用300W的环形变压器，功率裕量就够了。

连上所有的导线，注意功放电源板上的极性，正负不能接反，地线要一点接地。机箱接地点选择变压器的固定螺丝上再固定一个焊片，焊上一根导线。最终所有的地都连接在整流滤波电容的中点位置。

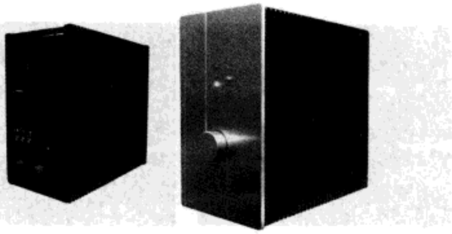
5. 简单测试

笔者认为把10kΩ方波基本没有什么畸变放大出来，没有过冲，业余条件下基本上就OK啦。在功放输出端接上负载为8Ω/5W的电阻，在小功率下分别测试1kHz、10kHz、20kHz、50kHz方波，见图7，50kHz时畸变稍明显。

四 听音评价

好了，可以开声了，声音好不好呢？一个字：好！这样说吧，蔡琴大姐唱累了，听者没有一点累的感觉，声音十分耐听。推小书架箱聆听交响乐，那个气势，那个顺耳，直逼胆机。

可平衡BTL桥接合并功放的制作



◎原声电子

平衡式放大电路在高端音响中经常可见，它比一般非平衡传输信号放大电路能获得更高的信噪比、更大的动态和更细致的分析力。在早期的刊物里所见到的平衡放大电路只是简单的把两路电路机构和性能相同的放大器通过非平衡电路转为平衡电路，分别放大正相和反相信号。其实这样得出的效果比单个放大器并没有明显地提升，反而会使声音感到更生硬、更呆板。如果单个放大器采用非大环路反馈形式还会产生自激，或完全不能正常工作（见图1）。

目前高音质的平衡放大电路是由两个放大器交叉连接而成，就是常说的我中有你，你中有我结构。这种双平衡设计有效地抑制了共模噪声与失真（见图2）。本机前级电路的输入采

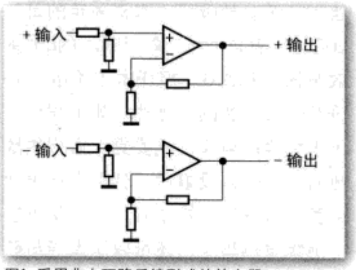


图1 采用非大环路反馈形式的放大器

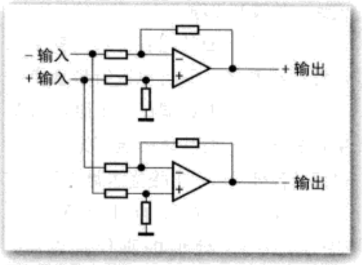


图2 平衡放大电路

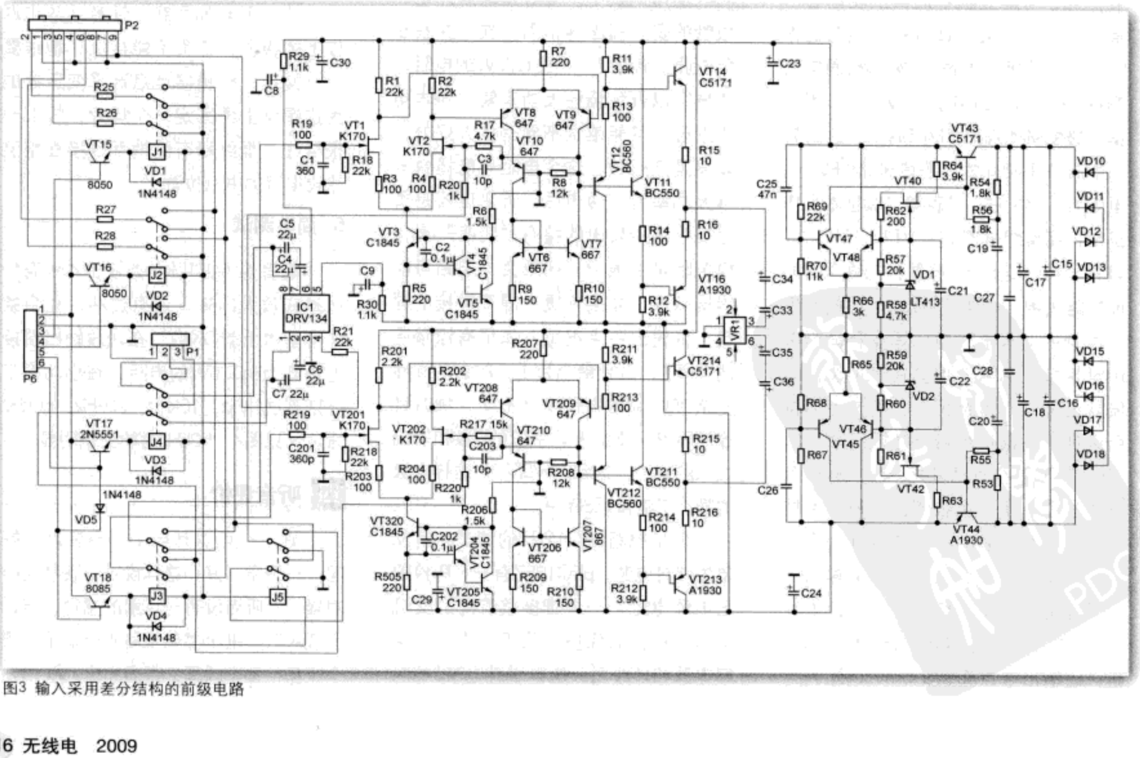


图3 输入采用差分结构的前级电路

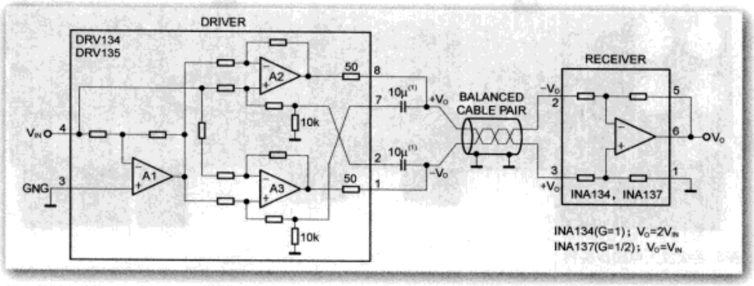


图4 BB公司专用转换集成电路DRV134

用差分结构（见图3）。差分放大电路由于具有共模抑制能力，因此电源波动或滤波不干净的信号进入输入级后便可得到有效地抑制。当电路采用平衡输入时，正负输入信号线感应的交流噪声也是一种共模信号，也可被差分电路抵消，从而使整个放大电路的信噪比得到明显改善。当输出到扬声器时，失真与噪声再一次被抵消，使得信号还原度极高。电压放大级在这里采用镜像恒流源负载，非平衡转为平衡电路采用BB公司专用转换集成电路DRV134（见图4）。

一般用分立元件和运放电路构成的转换电路形式比较复杂，对外围电路参数配对要求严格，对于DIY制作有一定的难度，而DRV134无外围元件，输出正负波形对称性也很完美，这对于制作高素质的平衡放大器扫除一大障碍。

后级放大电路主体电路采用夏文卡顿的一款经典电路（见图5和图6），相信很多朋友十几年前就对这个电路有所熟悉了。

为了消除非线性失真和抑制中点漂移，一般放大器都加有大环路负反馈。由于晶体管极间电容的存在，功放的输出信号相位滞后于输入信号，加入大环路负反馈后，输出和输入波形的不同步，更会产生比较大的失真波形，也就是常说的TIM失真（晶体管声）。这种失真通过超前补偿可得到一定改善，但电路总的相移会因频率的不同而不同，使得补偿难以准确到位，效果也不尽人意。我们可以注意到，整个电路的级间电容主要是在输

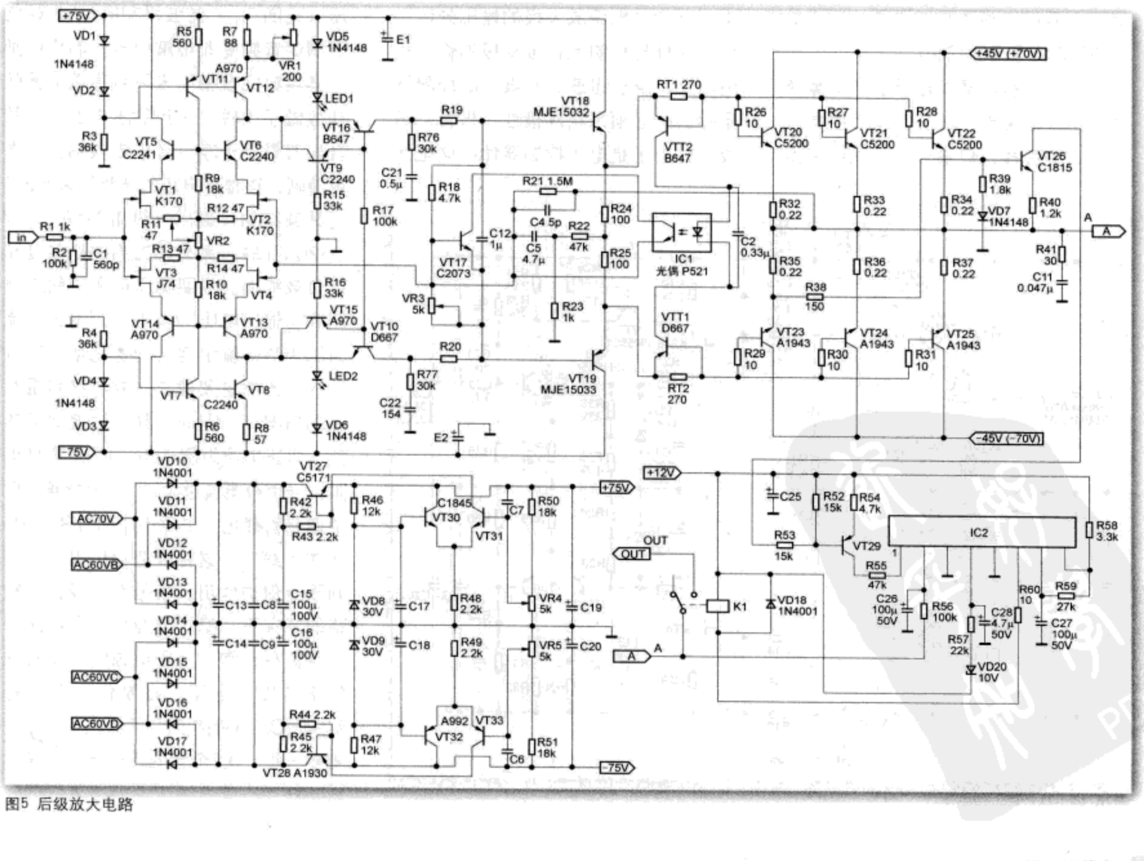


图5 后级放大电路

出级的晶体管上，若使反馈电路避开输出级，TIM失真可望得到明显地改善，同时，还可防止扬声器的感应反电动势窜入输入级，引起调制失真，所以，该电路反馈信号取自推动级，同时取消到地大容量反馈电容，使TIM失真得到进一步改善。但这时中点的漂移量会大幅增加，我们也可以采用中点伺服电路来解决。现在流行的有源伺服和无源伺服，为了对这两种电路的性能效果进行比较，在实际的印制板制作过程中我把这两个电路都给做上去了。有源伺服中点非常稳定，在2mV内基本不动，无源伺服有15mV左右的漂移，但无源伺服电路比用运放的有源伺服更耐听，有源伺服电路本身并不能完全滤除信号得到纯直流成分，这样必定对输入信号产生调制，结果采用有源伺服电路的声音相对于会显得干硬些和毛糙些，所以最终还是选择了无源伺服。

把输出级脱离反馈就必须尽量降低输出级的失真，让其工作于甲类是个不二的选择。但是一直顾忌纯甲类的高静态电流会对电源和散热的要求过高，还有其过高的耗电量，动态甲类即超甲类偏置可算是同时解决了这两个难题。在各类动态偏置中有一种光耦控制电流偏置是其中佼佼者，在图5电路中，对功放管的基极电流取样通过光耦反馈到推动管的基极，达到偏流的自动控制。光耦本身具有良好的隔离作用不会对信号产生调制，在控制端没有一般恒压偏置的上下臂电阻，不会对电压放大级的输出分流，而且采样与控制就在推动级的输入和输出上，反应迅速。其唯一的局限就是输出级必须采用双极性三极管，场效应管由于是电压控制器件在这里而不能受控。不过在板上预留了恒压偏置的元件位，这样在装机时可有多种选择。

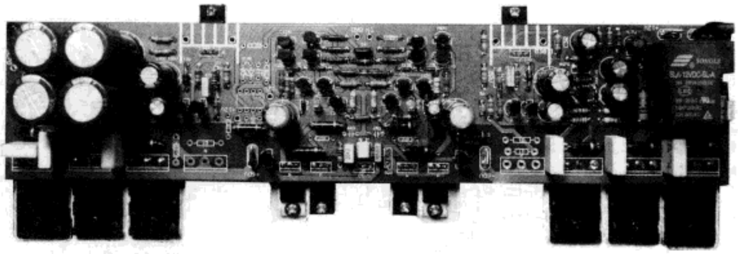


图6 后级放大电路板实物

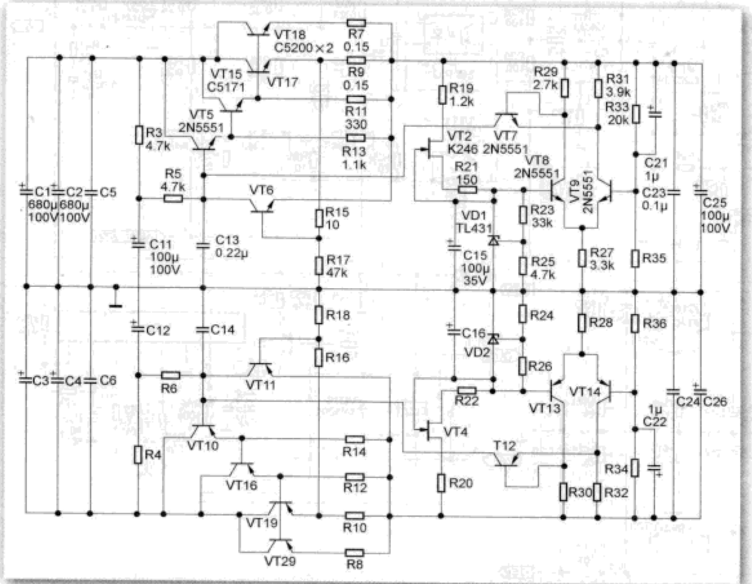


图7A 输出级稳压电源电路

整个功放采用了3份稳压电源，这是十分必要的。所有信号的放大能源都是来自电源，实质就是信号的主要成分，电源是否纯净直接影响声音的还原度。前级和后级的小信号放大级采用稳压电源是我们常用的做法。这里我们把输出级的电源也进行了稳压（见图7），滤波采用ELNA为建伍定制的音频专业电解电容。制作中把一套用料完全相同未采用稳压电源的功放做了比较：采用稳压电源的功放音乐背景更干净、音乐更流畅、层次更清晰。该稳压电路的调整管采用3级达林顿结构，最后一级用2对A1943/C5200并联，具有相当高的稳定度和带负载能力。只要稳压电源的输入电压高于输出电压3V以上，则输出电流为0~10A，输出电压的变化量不超过0.2V。当然这要建立在变压器容量充足的情况下，同时还具有过流保护功能，以正电源为例，R7、R9是取样电阻，当负载电流过大时，VT6导通，电源调整管截止，电源电压通过R3、R5加在负载上，这样降低输出电压，起到限流保护作用。就是在负载完全短路的情况下，稳压电源也不会烧毁，一旦负载正常，稳压电源便能及时提供正常输出电压。在制作中要注意A1943/C5200的配对，同极性间的配对要高一些，使2个管的负载电流尽量平均分配。

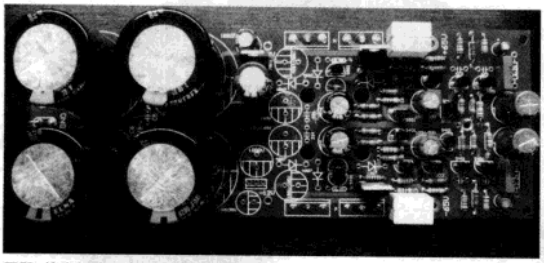


图7B 输出级稳压电源电路板正面

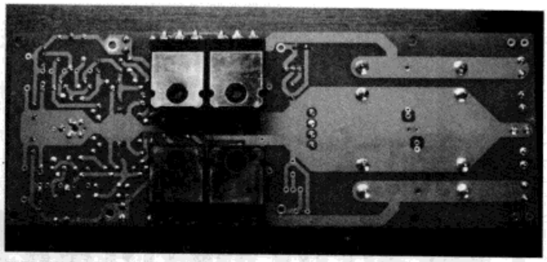


图7C 输出级稳压电源电路板反面

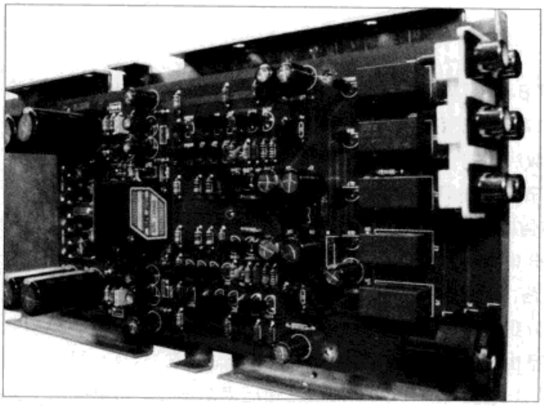


图8 安装在中搁板上的前级板

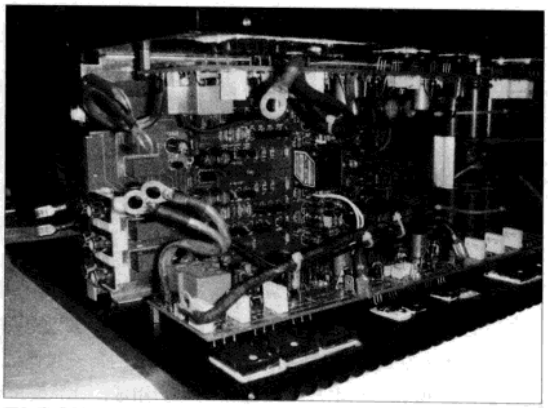


图9 半成品

在制作过程中，尽量采用品质较好的元器件。差分输入对管，镜像恒流源要求严格配对，其他全对称电路部分还需要讲究异极性的配对。各级的偏置电阻要采用温漂小的金属膜电阻，信号通道的电阻对音色的改变比较明显，可根据个人的口味选用不同材质和不同品牌的电阻。

先把各级的稳压电源元件安装好并调整到正确电压值，再安装好其他元器件，全部安装完毕，检查正确无误后便可通电。前级和后级的静态电流都已经确定好了，只要元件安装无误，不用担心有烧毁输出管的危险。最后调整前级和后级的输出中点，使其尽量接近零电位，通电几分钟无异常便可连线试音了。

整机制作共采用7块板子，机箱采用立式结构，它有几个优点：变压器、电源、放大器可以分层放置（见图8~图10），互相隔离，减少干扰，这相对于同体积的卧式机箱而言可以得到更大的散热面积。不过其缺点就是装配比较繁琐，单个机器可以作普通双声道合并机来使用，每声道3对管可输出150W×2/8Ω的不失真功率，这对于大多数的家庭是够用了，也可以经面板按键选择到BTL或平衡输入模式，由两台机器组成双单声道平衡放大器，这时的额定功率就是450W×2/8Ω。

经过多次实验、调整，单个机器的声音已相当不错了。整个音域表现比较宽松，人声韵味相当好，细节表达清楚，高频泛音细腻、丰富丝毫没有毛糙的感觉，大鼓震撼，但不是那种压迫心脏直冲脑门的攻击，鼓皮余震的谐波也刻画的相当真实。当用两台机器组成平衡放大时，声场变得更加开阔，聆听者好像是摆脱了房间的束缚，仿佛置身于音乐当中。整体音色会向中性有所靠拢，解析力，控制力进一步提高。可以完全感觉到超低频已经脱离了音箱沿着地表袭来。

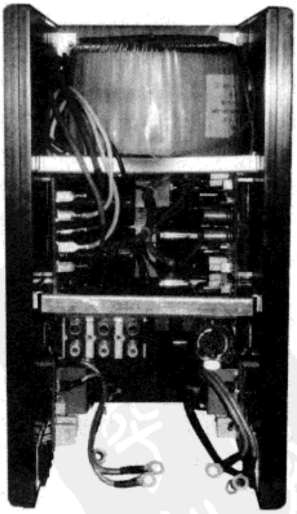
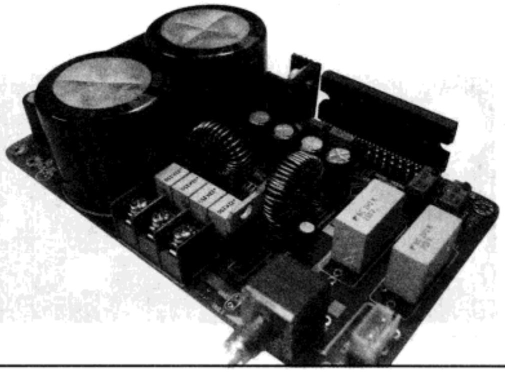


图10 分层结构

◎游宇兵

一款大功率 T类功放板的制作



TA2022是Tripath公司研发的一款大功率、高效率的T类（也属于数字功放的一种）立体声功放芯片。单个芯片可以输出连续功率达到每声道90W（4Ω负载、THD+N=0.1%）。如果做成单声道BTL电路，则可以达到150W输出（8Ω负载、THD+N=0.1%）。采用TA2022芯片制作功率放大器相对其他D类功放来说并不复杂，因为芯片内部已经集成了功率放大输出级，省去额外的功率级的设计。另外，由于T类功放振荡频率较高（平均在600~700kHz），所以输出滤波电路也比传统D类简单。TA2022功放的音质也优于传统D类功放，与AB类相当，这得益于Tripath独特的数字功率处理（DPP）技术。实际试听，它的保真度很出色，音色是属于大多数人喜欢的那种“温暖”类型。本文简述这款高品质的功放的搭建过程，以及制作要点。

一 电路原理

TA2022功放的电路原理如图1所示，从图1可以看出，主要电路可分为前级和功率级两部分，需要两种电源供电，其中功率级需要±30V左右供电（VPP和VNN），输入级需要单5V供电。输入级由输入电阻R_i（分别是R25和R26）和反馈电阻R_f（分别是R11和R12）、直流偏置调节电路（R20和R30及周边电阻）等组成。输入电阻和反馈电阻决定了功放的增益，增益Av可以从计算公式$Av=17.8\times(R_f/R_i)$中得到，其中增益常数17.8是由放大电路部分的反馈电阻参数决定的，下面将作进一步介绍。调节微调电阻R20和R30，可以使两个声道输出的直流电平趋近于零。放大部分电路主要由输出滤波、VN10供电电路、反馈电路、保护二极管电路等部分组成。输出部分的第一级滤波电路是由电感和电容组成，计算截止频率的公式为：$f_c=1/(2\pi\sqrt{L_o\times C_o})$，例如：原理图中$L_o$=11μH（图1中的L1或L2），$C_o$=0.22μF（图1中的C5或C6），根据公式算出f_c的值约为102kHz。当然电感和电容也可以选取其他参数，笔者根据测试，选用22μH电感和0.22μF电容配合使用，也达到了很好的效果，此时的截止频率约为72kHz。在第一级滤波电路后面接的是一个由电阻和电容串联组成的茹贝尔网络，该电路在很多功放中都有应用，一般是用来消除高频振荡，在图1电路里是用来防止负载断开造成的输出异常。此外在第一级滤波电路后还可以再增加一级LC滤波，以提高性能。

VN10是一组比主供电负电压VNN高约11V的电源，用在芯片内部的MOSFET驱动级。芯片有内部BUCK降压模块，可以配合外部的一个100μH电感得到此电压，另外VN10也可以由外部线性稳压电路供应。它需要的电流最高可达80mA，如果用外部线性稳压电路，稳压芯片一般需要增加散热片。相对而言，笔者更喜欢采用图1中的外部稳压方式，这样可以关闭内部降压模块，避免模块的2kHz频率信号窜到输出部分（如图1中所示的虚线部分）。

R6、R7、R23构成对输出端（OUTPUT2）的反馈电路，R13、R9、R24构成对输出端（OUTPUT1）的反馈电路，R14、R17、R22和R15、R16、R21构成对输出地的反馈电路。

相关知识链接

滤波电路电感的选取

由于该电路输出功率大、工作频率高，因此电感的选择很重要，选取不当不仅会影响音质，还会使电感过热甚至造成芯片损坏。我们一般选择磁导率较低的-2材质的铁粉芯磁环（外观是三面红色和一面灰色），用Φ0.6~0.8漆包线绕42~44圈，这样可得到11μH左右电感值，磁芯尺寸可选择T60或T68型号。这种电感损耗小，在大电流情况下不容易饱和，保证了良好的输出线性。另外，也可以选取质量较好的带屏蔽罩的工形电感，以长时间工作保持微热为佳。一般不建议选空芯电感，空芯电感的线性虽好，但辐射较大，且温度升高后散热效果不佳。

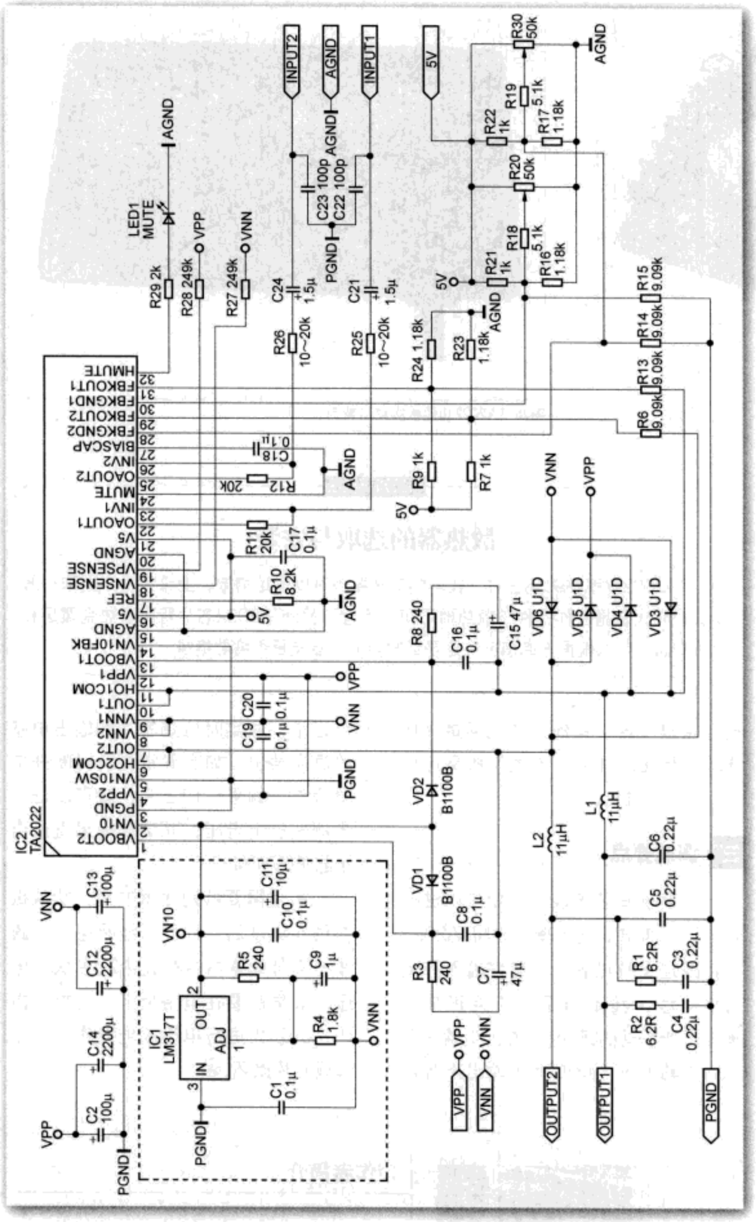


图1 TA2022功放的电路原理图

反馈电阻同样也决定了功放增益，图1所示电路的增益因数为17.8。反馈电阻在实际设计中要尽可能靠近TA2022芯片，反馈的取样点要分别选择在电感引脚和输出星形地的位置。

输出电路有4个保护二极管，必须选择反向击穿电压高于90V，正向连续电流大于200mA的快恢复管，例如贴片肖特基二极管U1D、ES1D等。

TA2022的24脚（MUTE）是一个5V逻辑控制信号输入，高电平可以使芯片进入“静音”模式，芯片内的功率级会被关闭，芯片功率级消耗的静态电流约为2mA。在此设计中直接将此引脚接地，使电路始终处于放音状态。在使用过程中，要注意此引脚不能悬空不接，否则很容易引起工作异常。32脚（HMUTE）是静音标识引脚，当芯片处于静音或过压、欠压、过流等状态时，该引脚会输出高电平，此时可通过一个2kΩ左右电阻直接驱动LED来指示如上状态，也可以接到扬声器作保护电路使用，这样就可以在上述情况下自动断开扬声器。

TA2022芯片具有过压和欠压保护功能，供电电压范围可根据19脚（VPPSENSE）和18脚（VNNSENSE）之间的检测电阻计算得到。两个电阻分别检测正、负电压，例如当检测电阻取249kΩ时，则最高供电电压被限定在±36.8V，最低供电电压被限定在±24.2V。计算方法如下：

正电源过压值= 249kΩ ×0.138mA +2.5V

负电源过压值= 1.25V－249kΩ × 0.152mA

正电源欠压值= 249kΩ ×0.087mA +2.5V

负电源欠压值= 1.25V －249kΩ × 0.095mA

检测电阻也可以取其他阻值，不过要注意最后得到的电压值范围不应超过芯片手册规定的极限值，即最高不超过±40V，否则保护作用将可能失效。另外检测电阻建议都取1%精度，如果精度较低，需要额外考虑电阻误差范围所导致的所有情况。

TA2022具有过流保护功能。如果功放两个输出端短接，或任意一端对地短接，可导致有8A左右的瞬间电流，内部保护会自动将芯片闭锁，只有重新上电或将MUTE（24脚）引脚电平做一次拉高，才能清除闭锁状态。

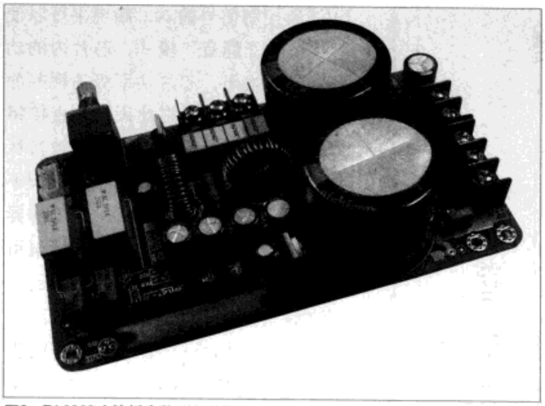


图2a TA2022功放板实物（正面）

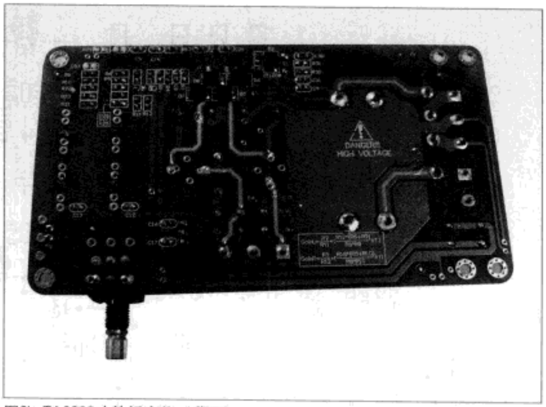


图2b TA2022功放板实物（背面）

另外，TA2022在芯片温度升高到165℃时自动过温保护，功放输出断开，在温度降低至135℃时候将自动恢复正常。

二 PCB设计

TA2022的电路板的设计除了要遵循传统功放的设计原则（如星形接地、输入元件与输出元件要远离等）之外，还要使滤波电容尽可能靠近供电电压的引脚，如C19和C20必须要设计在距离VPP、VNN引脚不大于3mm的位置上。同时，续流二极管、反馈电路元件等都要求尽可能靠近TA2022芯片，这些元件可以采用贴片封装，并设计在PCB背面，以缩短和芯片距离。在设计上建议两个输出电感互相垂直放置并远离，以减小相互干扰。

电路有AGND和PGND两个地线网络，可以用磁珠或PCB的铜箔单点相连，以减小底噪，也可以采用星形接法单点接地。电路板实物如图2所示。

在实际制作中还要增加整流桥电路，选用10A以上规格，即可满足大功率要求。两个主滤波电容选择nichicon或其他品牌的4700μF/50V或10000μF/50V规格，耦合电容可根据喜好选择BC、WIMA或RIFA等品牌薄膜电容，音量电位器选择优质A型50kΩ音量专用电位器，其他元件也尽量择优选取。焊接时插件元件的引脚尽可能短，以提高性能。

相关知识链接

散热器的选取与安装

TA2022效率在90%左右，较小的散热器也可以满足需要，业余条件下选取一般以长时间大音量工作条件下散热器不烫手为宜。另外TA2022芯片背面散热金属是和地线相通，可以根据安装情况决定是否需要散热器及是否需要绝缘。

三 调试要点

在确认安装无误后，就可以进行通电了。通电测试步骤：先将TA2022芯片固定在散热器上，连好输入和输出信号线，接上电源。如果正常，HMUTE所驱动的LED将会在上电瞬间点亮后自动熄灭。此时聆听输出声音是否正常，并实时检查芯片和输出电感的温度情况，如有异常要及时断开电源检查。如果一切正常，就可以进一步测量供电电压，并调整输出直流电平趋近0V即可。

另外需要特别注意的是，功放板在每次测试后，即使已经断电，主滤波电容可能依然存在高达20多伏的电压，如果需要在电路板上进行焊接操作，必须先进行电容放电操作，以免造成芯片损坏。Ⓦ

◇作者简介

我是一名80后的青年，从小学开始就迷上了电子制作，曾从旧家电上拆下元件，搭建简单的LED闪烁电路、门铃电路或是FM发射电路，每次成功都充满了成就感。自从接触音响后，则以做出一套还原最高保真音质的音响为目标，从此开始了永无止境的发烧之路。不论是成功还是失败，总能从中得到乐趣。

用PCM1738制作小巧的音频解码器

◎语蓝

玩音响的发烧友们估计都深有体会，一款优秀的解码器，可以很大程度地提高音响系统的还原水平。笔者也喜欢音频解码器的制作，并经常和网络论坛里的发烧友交流心得。部分动手派的发烧友希望能拥有一款线路简单、易做，成本不高，又特别适合手工焊接的解码器。因此，萌发了设计一款小巧简单的高素质解码器的念头。结合音响艺苑周年系列解码器的设计理念和制作经验，决定采用BB公司出品的高性能数字接收芯片—DIR9001，以及同样是BB公司的解码芯片—PCM1738，作为该音频解码器的主要芯片。PCB经过反复的排版优化，最终尺寸只有10cm×7cm大小。除了主要的3个IC芯片是贴片元件，其他均采用直插元件，特别适合手工焊接。别看PCB尺寸小，却包含了100多个元件，并且拥有了SPDIF同轴和光纤输入，适合驳接CD，DVD，电脑声卡等。由于尺寸小巧，可以将解码板整合到CD机内，更加节省空间，也可以另外购买市面上常见的铝型材外壳，装成一台解码器整机。下面我们先来看看主要芯片的基本资料吧。

DIR9001是28针TSSOP封装的，可接收24bit（28～108kHz）采样率的数字接收芯片。它有极低的抖动（jitter），支持标准的SPDIF、AES等多种信号输入方式。可选择的多种系统时钟：128f_s，256f_s，384f_s以及512f_s（f_s为输入数字信号采样率），并支持多种输出方式，比如24bit I²S、24bit Left-Justified、16~24bit Right-Justified。可以选择通过MCU，DSP等来控制芯片，设定芯片的工作状态。工作电压范围为2.7~3.6V，典型应用电压为3.3V。数字输入要求为5V TTL电平。

PCM1738则是28针SSOP封装的24bit（192 kHz）采样率的数模转换芯片。它的动态范围高达117dB，信噪比也是117dB。总谐波失真加噪声是0.0004%，自动检测的系统时钟有多种选择：128f_s、192f_s、256f_s、384f_s、512f_s以及768 f_s。从16~24bit的多种输入格式可选，可以非常方便地搭配数字接收IC。它还支持外接MCU进行工作方式控制，也支持PCM和DSD两种格式的数字信号。需要注意的是，PCM1738需要一组3.3V的电压供给芯片内的数字电路部分，一组5V电压供给芯片内的模拟电路部分。

简单介绍了主要芯片的一些基本参数之后，我们接下来看看这款音频解码器的具体电路和应用，芯片的一些引脚功能也将在文章中结合电路做简单介绍，更详尽的资料可以参考官方提供的应用手册。

图1所示的是光纤输入部分的电路。采用的是东芝的RX178B光纤接收器件。这里需要注意的是，光纤接收器件的电源脚要尽量在近处接一个0.1μF的退耦电容。另外，由于DIR9001要求的是5V TTL电平输入，因此，对光纤和同轴输入信号都用74HC04电路做了整形。DIR9001只有一个输入端，因此，需要多个输入接口的时候，可以考虑用继电器进行输入信号的切换。

DIR9001的第20脚(RXIN)为数字信号输入脚。经过整形的信号就是接到此脚，具体看图2。

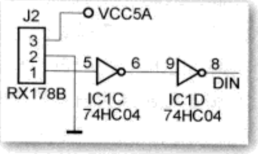


图1

由图2可知，DIR9001需要2组3.3V电源，5脚(VDD)为数字部分电源，24脚(VCC)为模拟部分电源，因此，这两

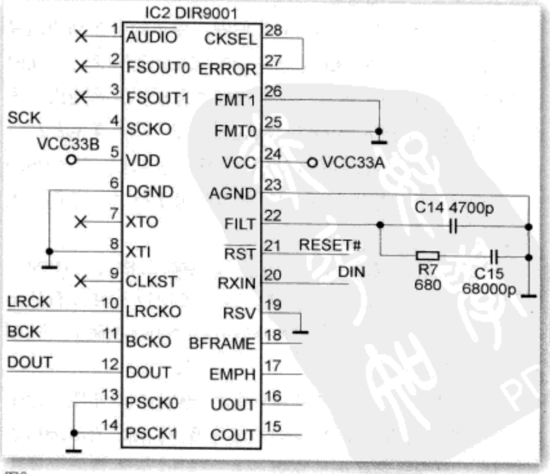


图2

表1

PSCK1：PSCK0设置		从PLL输出时钟		
PSCK1	PSCK0	SCKO	BCKO	LRCKO
低	低	128 *fs*	64 *fs*	*fs*
低	高	256 *fs*	64 *fs*	*fs*
高	低	384 *fs*	64 *fs*	*fs*
高	高	512 *fs*	64 *fs*	*fs*

表2

采样率*fs*（kHz）	BCKO 64*fs*（MHz）	SCKO 128*fs*（MHz）
32	2.048	4.096
44.1	2.8224	5.6448
48	3.072	6.144
88.2	5.6448	11.2896
96	6.144	12.288

表3

FMT1：0电平设置		数据输出格式
FMT1	FMT0	
低	低	16bit，MSB–first，right–justified
低	高	24bit，MSB–first，right–justified
高	低	24bit，MSB–first，left–justified
高	高	24bit，MSB–first，I²S

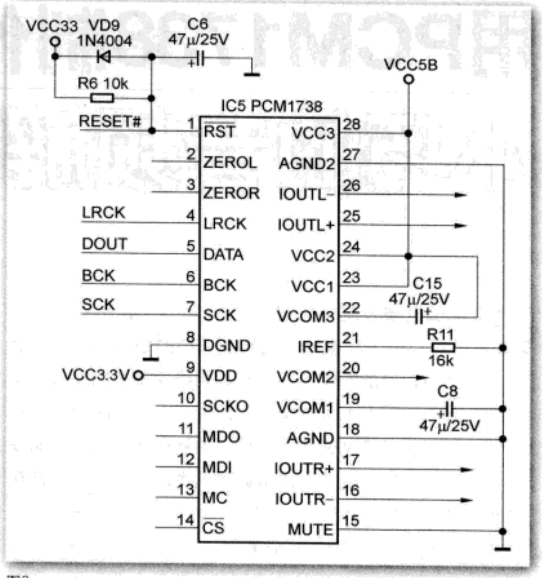


图3

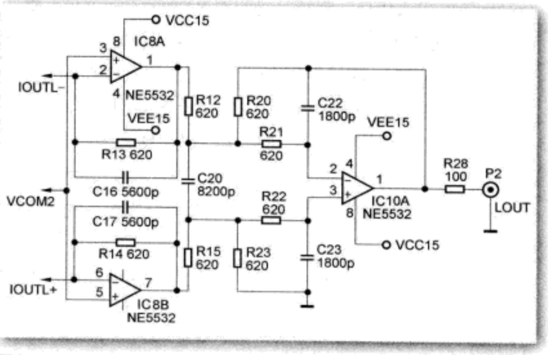


图4

路电源最好分开供电。8脚(XTI)为外接晶体振荡器输入端，如果不需要外接晶体振荡器，要将此脚接地。7脚(XTO)为外接晶体振荡器输出端，没有接晶体振荡器时，留空即可。28脚(CKSEL)为DIR9001模式选择脚。此脚拉低时，为PLL模式；拉高为XTI模式；连接到27脚(ERROR)为自动模式。电路图上的方式为无外接晶体振荡器模式，因此，28脚和27脚连接起来为自动侦测模式。当ERROR脚位为低电平时，电路处于工作状态；当ERROR脚位为高电平时，电路处于静音状态。此时，系统输出时钟由13脚(PSCK0)和14脚(PSCK1)决定。详细组合见表1。

图2中，将CKSEL脚接ERROR脚，使用的是自动侦测模式。PSCK1，PSCK0脚均接地，使得SCKO为128f_s。此时DIR9001接收到的是不同的数字信号的采样率，将输出不同的系统时钟频率SCKO和音频数据位时钟BCKO。详见表2。

在图2中，25脚(FMT0)和26脚(FMT1)均接地，这2个脚的电平高低组合，决定了DIR9001的数据输出格式。它们的组合见表3。

可见，这里选择的是组合1，数据输出格式是16bit，MSB-first、right-justified的。这是因为PCM1738在没有外接MCU作控制的话，它默认只能接收16bit right-justified ，PCM格式的音频数据。

图2中的DIR9001芯片外围只有2个电容和1个电阻。这是DIR9001芯片内建的PLL所需的外部环路滤波器。在PCB布线的时候，应该将它尽量地靠近芯片。这3个元件需要误差在5%之内，当然能有更高精度的更好。第12脚(DOUT)为输出的数字音频数据，它将和PCM1738的第5脚(DATA)相连。

以上简单介绍了DIR9001在实际电路中的应用和一些注意事项。当然，还有更多复杂的功能可以实现，比如外接MCU、外接晶体振荡器等，大家可以参考官方的数据手册。下面我们来介绍PCM1738部分的电路，见图3。

从图3中我们可以看到，从DIR9001输出的LRCK，DOUT，BCK，SCK等信号都接到PCM1738相应的输入脚。PCM1738需要一组3.3V的电压给第9脚(VDD)，一组5V电压给第23，24，28脚。第1脚(RST)为上电复位脚，DIR9001同样有一个类似的脚，它们接到由R6和C6组成的RC电路，这里的VD9起保护作用，可接也可以不接。其中DIR9001要求上电复位时间最短为100ns，而PCM1738最短为20ns。

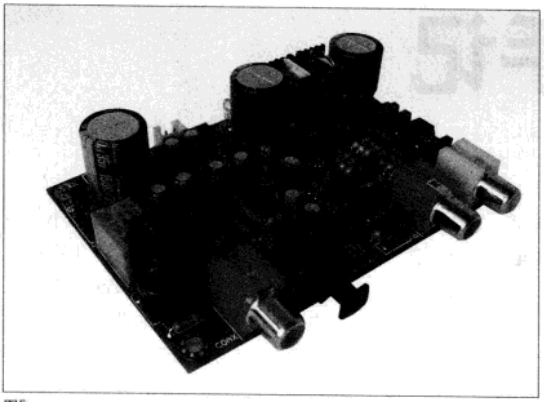


图5

第21脚(IREF)接一个16kΩ电阻到地，这是提供芯片内部参考电流的电阻，必须是16kΩ，并且要求精度为1%，这点需要注意。

另外，从图3可知，PCM1738是差分电流输出型的芯片，需要进行外部的I/V转换。它的输出电流，在0dB时候是2.48mA$_{(p-p)}$，I/V转换后的电压可以按照公式进行计算：V_{out}=2.48 mV$_{(p-p)}$×R_f 。R_f为I/V电路的反馈电阻。而20脚VCOM2是提供给I/V电路的基准参考电压，是直流2.5V。第15脚(MUTE)是静音脚，可以通过MCU控制，也可以通过电路控制。在电路控制时，高电平为静音模式。第16，17，25，26脚为差分电流输出，连接到图4的I/V电路(负责I/V转换的是U8运放。图4只画出左声道，右声道类似)。

在图4中，IC8电路后面接了一个IC10组成的低通滤波兼放大电路。图中元件参数为官方推荐的参数。利用该电路，得到的输出电压为2.2Vrms，低通滤波的截止频率为45kHz，电路增益为1。

至此，此音频解码器的主要电路部分介绍完毕了。对于其他方面的细节处理，简单介绍如下。该解码器需要两组电源，其中一组是交流双15V，整流滤波并稳压后供给I/V和低通滤波电路的运放。另外一组是交流单7V，同样经过整流滤波后，分两组独立的稳压，一组3.3V，另外一组5V，供给74HC04、DIR9001，以及PCM1738。在这里，由于考虑到板子需要小型化设计，就使用了两组交流电源，如果各位读者要自行设计时，可以每一路电源都独立分开。不过，此解码器虽然只用了两组电源，但经过稳压后供给数字电路部分的电源，都经过独立的LC滤波，可以降低相互之间的干扰。

对于PCB的焊接，遵循从元件低到高的顺序焊接。比如先焊接贴片芯片再焊接电阻，然后是CBB电容，最后是电解电容和其他接插件。在焊接贴片IC的时候，可以用尖嘴烙铁，烙铁头上要尽量少的锡，然后一个引脚、一个引脚地焊接。也可以用平头烙铁进行拖焊，还可以用堆锡法焊接。所有元件焊接完毕后，要检查是否有漏焊，或者是否有焊接错误的地方，特别是一些IC的方向和电解电容的极性不能搞错。这个解码器电路简单，焊接完毕后无需进行其他调试。图5所示是焊接完毕的成品板图片，非常小巧，很适合安装到现有的CD机箱内，或者用有机玻璃也可以做成很漂亮的外壳。

把解码器的同轴输入接到电脑声卡的数字输出，解码器模拟输出接功放的输入端子，接通电源，播放熟悉的乐曲。细细地倾听，发觉声场变宽，动态也明显加强了，细节也多了不少，同时乐曲也更加耐听了。把音源换作台式CD机，同样发现效果提升了不少。如果您有兴趣，不妨也动手DIY一个。100多个元件，一片小小的PCB，可以给你带来意想不到的收获。也许这就是动手派Hi-Fi 发烧友乐此不疲的乐趣吧！

◇作者简介

20世纪90年代初，笔者还是一个初中生，在一位同学的影响下，迷上了电子制作，然后自学电工基础、电子基础等知识。因为喜欢音乐的缘故，后来就对音响电路DIY产生了浓厚的兴趣，第一个功放是用LM386装的，简单、焊好即响。现在想想，那时候对音响电路方面的知识还是一知半解的，后来随着烧龄的增长和经验的积累，陆陆续续又制作了许多音响电路，也开始了音箱的制作。

在上大学期间，由于学校条件限制，我只好停止了音响DIY。毕业后，随着网络交流的便利和业余时间的充足，我又重新迷上了音响发烧，在网络的帮助下，结识了许多电子制作和音响制作的高手，他们给了我很大的帮助和指导，因此，我也将自己的制作经验写出来，希望和广大音响发烧友互相交流、共同提高。

电脑功放组装手记

◎吴玥

对于已经习惯于用试验板组装各种电路的动手派来说，用现成的印制板进行电路组装似乎是比较小儿科的事情，然而以损毁2块功放IC的代价才完成一个USB接口的电脑功放，是笔者始料未及的，每一次经历都有新的感受，看来这话不假。

虽然是意外，但是也付出这么多了，于是就有了为之DIY一个外壳的想法，这也许是DIYer的弱点，有点“赌徒”的心理：越付出，就越投入。

单就技术指标和实际听感来说，在已经面市的单片USB传输界面的音频解码器中，PCM2702算是佼佼者，偏重音频性能而不是功能，更像是为消费娱乐音响设计而非电脑应用，表1所示的数据就可以很好地说明这个问题。至于USB规范，从实际应用来看，对音频性能的影响很小，系统资源占用差别也似乎可以忽略。

2004年上市的LM4780，如今已经得到烧友们的普遍认可，流行的说法是：它是口碑不错的LM3886的双声道升级版本，只是最大连续输出功率略有缩水。从听感评价上来看，与之同系列的LM4732则显得更优秀，就像不出名的LM3875比LM3886的表现似乎更好些一样，而LM4732仅仅是最高工作电压和输出功率比LM4780略微小一些而已，引脚功能二者是完全兼容的。对于集成功放，使用其最高的额定工作电压不是一个明智的选择，因为手懒，觉得手头的双28V的“环牛”是可以用的，因为LM4870可以耐受84V的直流供电电压，结果第一个LM4780就这样报销了，事后分析原因，可能兼有LM4780自激的因素在内，因为事发突然，没有来得及用示波器观察电源波形，只是推测而已。第二个LM4780烧得也比较意外，不小心将拖出来的一根地线碰到了负电源，“环牛”瞬间狂“哼”不已，连忙关电源，扬声

表1 常见的单片USB音频IC主要技术参数一览表

型号	USB规范	音频DAC				音频ADC		封装形式	备注
		通道	THD+N	DNR	SNR	通道	THD+N		
UDA1321	USB1.1	2	0.003%	未知	95dB	—	—	SDIP32/SO28/QFP64	DAC，I²S音频输出
UDA1325	USB1.1	2	0.003%	未知	95dB	2	0.005%	SDIP42 / QFP64	codec，I²S音频输入/输出
UDA1331H	USB1.1	2	0.003%	未知	95dB	—	—	QFP64	DAC，I²S音频输出
UDA1335H	USB1.1	2	0.003%	未知	95dB	2	0.005%	QFP64	codec，I²S音频输入/输出
PCM2702	USB1.1	2	0.002%	100dB	105dB	—	—	SSOP28	DAC
PCM2704	USB1.1	2	0.006%	98dB	98dB	—	—	SSOP28	DAC，S/PDIF输出
PCM2705	USB1.1	2	0.006%	98dB	98dB	—	—	SSOP28	DAC，SPI支持，S/PDIF输出
PCM2706	USB1.1	2	0.006%	98dB	98dB	—	—	TQFP32	DAC，S/PDIF输出，I²S控制
PCM2707	USB1.1	2	0.006%	98dB	98dB	—	—	TQFP32	DAC，SPI和I²S控制支持，S/PDIF输出
PCM2900	USB1.1	2	0.005%	93dB	96dB	2	0.01%	SSOP28	DAC，S/PDIF编码功能
PCM2901	USB1.1	2	0.005%	93dB	96dB	2	0.01%	SSOP28	DAC，S/PDIF编码功能
PCM2902	USB1.1	2	0.005%	93dB	96dB	2	0.01%	SSOP28	DAC，S/PDIF编码功能
PCM2903	USB1.1	2	0.005%	93dB	96dB	2	0.01%	SSOP28	DAC，S/PDIF编码功能
PCM2904	USB1.1	2	0.005%	93dB	96dB	2	0.01%	SSOP28	DAC，S/PDIF编码功能
PCM2906	USB1.1	2	0.005%	93dB	96dB	2	0.01%	SSOP28	DAC，S/PDIF编码功能
CM101+	USB2.0	2	0.04%	96dB	97dB	—	—	SSOP18	DAC，电子音量控制，Xear 3D虚拟音效
CM102+	USB2.0	2	0.04%	96dB	97dB	—	—	SSOP18 / DIP18	DAC，电子音量控制
CM103+	USB2.0	2	0.04%	96dB	97dB	—	—	LQFP48	DAC，，Xear 3D虚拟音效
CM106–	USB2.0	8	0.0035%	99dB	92dB	2	0.04%	LQFP48 / QFP100	codec，Xear 3D虚拟音效，Dolby
CM106+	USB2.0	8	0.0035%	99dB	92dB	2	0.04%	LQFP48	codec，Xear 3D虚拟音效，Dolby/DTS
CM108	USB2.0	2	0.019%	94dB	94dB	1	0.015%	LQFP48	codec，I²S控制和片外EEPROM支持
CM109	USB2.0	2	0.019%	94dB	94dB	1	0.015%	LQFP48	codec，针对VoIP应用优化
Nitrogen D2	USB2.0	2	0.04%	96dB	98dB	—	—	LQFP48	DAC，Dolby/DTS
UAC3554B	USB2.0	2	0.003%	未知	96dB	2	0.003%	PMQFP64	codec，配置支持
UAC3555B	USB2.0	2	0.003%	未知	96dB	2	0.003%	PMQFP64	codec，配置，插件支持
UAC3556B	USB2.0	2	0.003%	未知	96dB	2	0.003%	PMQFP64	codec，配置，插件，固件支持
DS4201	USB1.0	2	0.018%	80dB	80dB	—	—	PDIP28 / QFP44	DAC，可选的混音器
AK4571	USB1.1	2	未知	未知	83dB	1	未知	LQFP48	codec，EEPROM读取支持
AK5370	USB1.1	—	—	—	—	1		VSOP24	ADC
AK5371	USB1.1	—	—	—	—	2		LQFP48	ADC

表2 部分拆机元件规格

规格	品牌	外部特征	用途
16V/1000μF	ELNA、RE系列	墨绿色外皮，白字	+3.3V电源稳压前滤波
6.3V/1000μF	TOWA	绿色外皮，黑字	+3.3V电源稳压后滤波
25V/3300μF	EASICON	蓝色外皮，黑字	±12V电源稳压前滤波
16V/220μF	PHILIPS、M系列	蓝色外皮，黑字	±12V电源稳压后滤波
10V/1000μF	FENGLE、L.ESR型	黑色外皮，金字	+5V电源稳压后滤波
100V/2.2μF	Nichicon、BP-S系列	深蓝色外皮，白字	缓冲放大输出耦合电容
25V/47μF	PHILIPS、C4系列	蓝色外皮，黑字	4780的交流反馈电容，串联使用
50V/10μF	Eeite	深蓝色外皮，白字	4780电源退耦
LM317	摩托罗拉	TO-220封装，M标志	+3.3V电源三端可调稳压IC
AN7912F	摩托罗拉	TO-220F封装，M标志	-12V电源三端稳压IC
AN7812F	摩托罗拉	TO-220F封装，M标志	+12V电源三端稳压IC
LM2940CT-5.0	NSC	TO-220封装	+5V电源三端稳压IC
NE5532	BB	DIP-8封装	2702输出缓冲放大
RY12W	TAWAMISAWA	顶部白色，四周蓝色，树脂密封	音源选择12V继电器
PLF-2V-2RA-408	muRata	白色铝质外壳，树脂灌封	EMI滤波器，250V/2A

图1 部分全新元件实物图

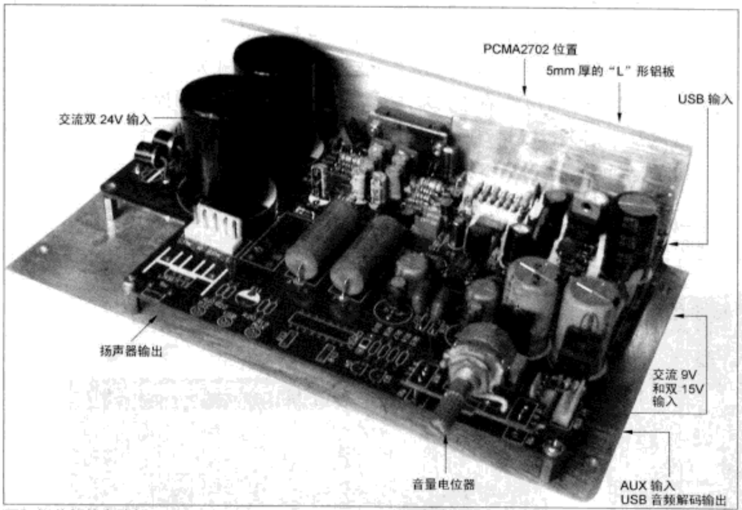


图2 组装好的电路板

器里也发出了粗重的“哼”声。去掉扬声器后再上电，测量两个输出端，一个声道的输出为负电压，看来一个声道损坏了，在郁闷中换上了第三块LM4780。好在到手的印制板的质量不错，经得起这么多次手工拆焊！

一 电路组装

因为拿到一块物美价廉的印制板（双面1.2mm印制板），手头也刚好还有LM4780和PCM2702，所以就萌发了装一块电脑多媒体功放“正式版”的念头。PCM2702+LM4780+电源一体化设计，还包括音量控制和音源选择以及扬声器保护。LM4780和PCM2702如今已经为很多爱好者所熟悉，电路上没有什么悬念，出于“唯美”的考虑，也为这块印制板搭配了一点“猛料”以装点“门面”，借着这个机会“养一养”耳、眼，它们是一对无极性电容、一对RX11型滤波电容、一只ALPS的16型音量电位器，如图1所示。这次大部分的电阻也使用了新件，如我国台湾地区产的5环“厚声牌”0.25W电阻，据说其噪声系数可以低到25ppm/℃，比常见的5环电阻低了一半。需要说明的是，这只是手头刚好有而已，不敢说它对电路的贡献有多大，毕竟在音频放大器中，电阻和电容不是噪声的主要来源。元器件还是照例使用了拆机件，有牌子的元件规格如表2所示。

组装好的电路板如图2所示，PCB在网上商店可以很容易买到，双面180mm×120mm的印制板为20元，价格也还算公道。“L”形的散热器是自

己设计的，用5mm厚的铝板弯折，既是散热器，又是固定托板，这样无论怎样折腾，也不至于将PCB弄坏。PCB板没有为散热器设计托板，直接将LM4780固定到槽形散热器上。

这块PCB在设计上有3个与众不同的特点：

1.设计了由CD4017为核心组成的两路音源切换电路，用继电器完成音源切换，有相应的LED作指示。不足之处是，在默认情况下，即继电器不加电时，音源处于外部线路输入（AUX）状态，而这块板主要是为USB接口设计的，这就意味着继电器经常处于耗电的状态，不利于节能。实际装配时将音源选择的默认状态改为USB状态，控制电路舍弃不用，继电器保留，切换控制直接用一个自锁式按钮开关完成，这样既节能，电路也比较简单。

2.PCM2702的输出缓冲放大电路虽然都采用了运算放大器，但是没有采用BB公司推荐的带有高频切除的电路形式，而是一个标准的反相放大器，仅在负反馈电阻上并联了一个47pF的电容来限制放大器的高端频率响应。

3.各部分电路独立供电。前级数字、模拟、功放电源有各自独立的变压器次级绕组，PCM2702的数字和模拟电源、运放的电源和控制电路的电源有各自独立的三端稳压器。

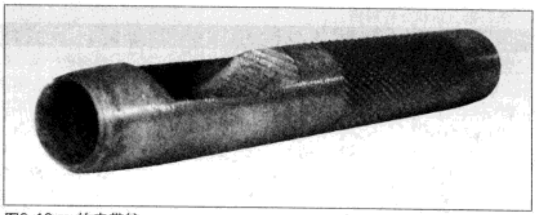
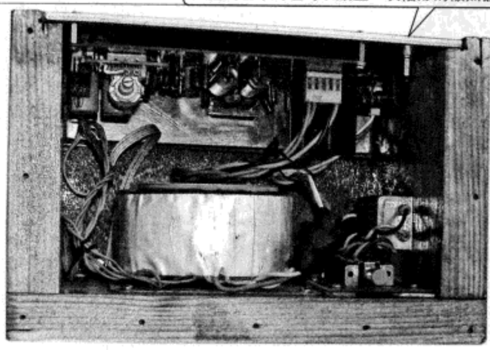


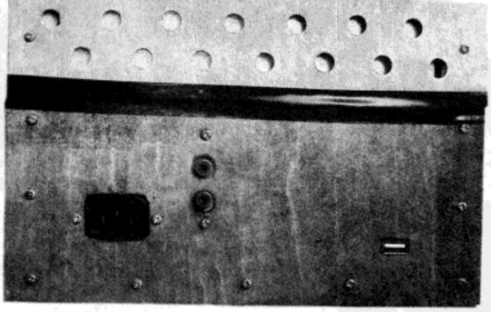
图3 10mm的皮带铳

缓冲放大器与后级是直接耦合的，实测运放输出端电位约为电源电压的一半。静态条件下转动音量电位器，扬声器中会有明显的“沙沙”声，在音量电位器与运放的输出端之间加入耦合电容，上述现象消失。原来的设计可能是为了体现无极性耦合电容的优势，就是图中红色圆柱形的那个。如果不经常调节音量电位器或者不太在意上述噪声，这样的用法也未偿不可。由于PCB板上没有设计安装输出耦合电容的位置，于是直接利用了USB音频解码输出信号到输入后级，至于USB音频解码输出是否保留，留待以后考虑。

电路装配完成，发现电路有自激现象，扬声器中有明显的“沙沙”声，LM4780发热比较快并且不能正常工作，怀疑是交流反馈电容的容量不合适或者质量有问题，替换后无效，试着去掉LM4780输出端的茹贝尔电路，自激基本消失，LM4780也能正常工作了，而且静态指标不错，耳朵贴近扬声器，仔细听才有微弱的低频“哼”声，连上电脑试听一下，主观判断，动态指标也不错！但是音量电位器转动到某个位置时，似乎仍有轻微自激，并且一个声道比较明显，扬声器中有高频调制啸叫声，类似调幅收音机选台时发出的声音，1m外可闻。试着将LM4780负反馈电阻上并联的47pF电容去掉，自激现象终于彻底没有了，重新接上茹贝尔电路，电路工作也一切正常，静态表现有改善，微弱的低频“哼”声几乎不可闻，LM4780的发热现象也明显减小。在LM4780的技术文档中，这个小电容有些设计中有，有些设计中没有，看来，频率补偿也不能乱用，否则确有“画蛇添足”之害，回想烧掉的第一块LM4780，不知道是否和上述自激有关啊，由于已经烧掉两块了，手头没有多余的了，也就没有机会再做耐电压的实验了。



(1) 前面板没有上的样子，前面板是最后上的



(2) 后面板的样子，所有的输入／输出端口都位于下半部

图4 组装前后的外壳

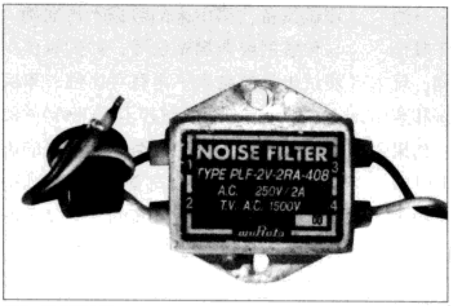


图5 EMI滤波器

二 外壳制作

自己制作外壳，不求好看，实用为上。受工具条件限制，没有考虑金属材质，全部采用了木质结构：两侧和底部用10mm以上的原木，前后是5mm左右的五合板，顶部利用功放电路板的铝质托板，电路板倒装，电源变压器位于机壳底部的中央位置，电源开关、音量调节电位器、音源选择开关（暂时未安装）位于前面板，其余端口全部位于后面板。用五合板做面板的好处是，用一把美工裁纸刀就可以开出来我们所需要的各种形状的孔来，为了便于开圆形的孔，这次还使用了皮带铳，10mm以下的圆孔，相应规格的皮带铳很好用，五金店一般有卖的，不贵，10mm规格的如图3所示。

较厚的原木板只需要用木工锯简单加工成长方形，然后粘接、用钉子固定都可以，连接好以后呈“U”形，像一个小板凳。如果追求美观，可以请木工师傅代为加工，用不了多少费用。木板厚些便于前、后面板以及顶部“L”形铝板的固定，图4显示的是实际组装好的样子。如果不是安全的需要，我更喜欢没有前面板的样子，过于简洁的前面板也许需要一些装饰才看上去更顺眼。图中原木板的厚度是23mm，整个机壳的外形尺寸是：135mm（深）×240mm（宽）×160mm（高）。

实际组装时还在市电输入回路串入了EMI滤波器。对于采用工频电源的线性放大器来说，自身的EMI问题可以忽略，但是就像漆黑的夜晚，行路的瞎子也会提着灯笼一样，如今的电磁干扰越来越复杂，你不干扰别人，却不能保证别人不干扰你，加入这个EMI滤波器正是为了让放大器能够从电网获得相对纯净一些的电能。实际使用的EMI滤波器如图5所示，从一个图形工作站的废旧电路板上拆下来的。电脑电源中也都有EMI组件，很多也是单独的一小块电路板，电脑维修店比较容易找到，只是因为没有封装，应注意安全。

把兼做散热器的铝板的最大面积的一面朝上有一个附带的好处：LM4780的发热量是非常可观的，当±35V供电时，非静音状态即使没有信号输入，1个小时后铝板也是温热的，如果偶尔需要比较大的输出功率，可以临时放一个槽形的散热器在上面，而一般应用，仅仅铝板就足够了。完全组装好的样子如图6所示，有点呆板，也许立起来会好看些，不放额外的槽形散热器也是可以的。从这里可以更清楚地看到它的上表面，看起来也有些粗糙，真是鱼与熊掌不可兼得啊。

所有组件都装配好以后，仔细检查有无错误，然后通电实验，工作正常，然后再将所有的组件拆下来，用清漆将机壳内外至少刷一遍，尤其是前面板，这样颜色看起来明亮些。图4和图6所示的是刷过清漆后的颜色，图6所示的前面板更接近实际的颜色，淡淡的黄色，若隐若现的自然木纹，也是别有一番特色的，而图4所示的后面板，只刷了一遍，颜色显得有些灰暗。如果喜欢其他的颜色，也可以采用调和漆，还可以请商家代为调色，不过买现成的中间色油漆是既方便又可靠的方法。

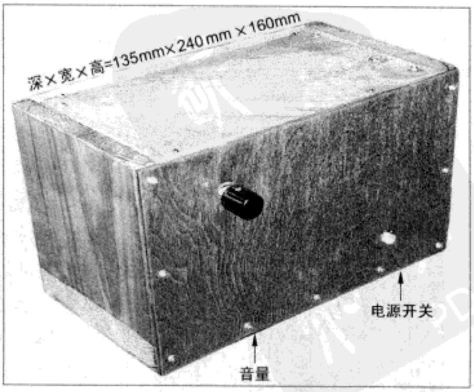


图6 组装好的功放

三 试听与结果

所谓高山流水，知音难觅，对音乐的感受是因人、因地、因时、因事而异的，听音的感受就不赘述了。NSC的功放IC，低音醇厚，音色偏暖，听多媒体音乐时大多会有低音偏重的感觉，如果使用基于软件的图示均衡器，应注意不要再加重低音了。用耳朵“收货”时使用了ape格式的惠威和飞利浦试音碟，播放软件是Winamp5.35，其中的惠威试音碟是针对家用音响的，而不是T200A的那种，因为后者是针对多媒体音箱的，低音有浓重的感觉。音箱则是一对“和光”无源2路倒相音箱，简单的电容分频，4英寸的中低音，2英寸的纸盆高音，全防磁，是由两对有源箱组合而成的。名不见经传的“和光”有源音箱，用有源的方式来听，只是很一般的水平，单独把无源箱挑出来组成一对无源音箱，用独立的功放来推，则笔者听过的有源箱中，鲜有对手，箱子的样子如图7所示。

试听《百年留声》、著名歌唱家宋祖英在维也纳音乐厅的公演录

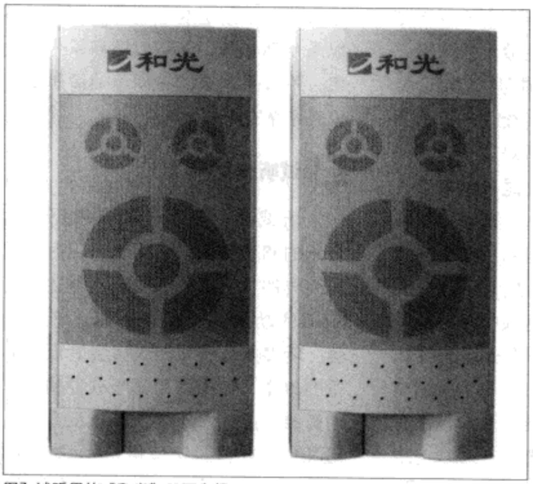


图7 试听用的“和光”无源音箱

音，这属于交响乐的范畴了，一般不太适合多媒体功放，然而结果有点出乎意料，声场仍然相当平衡，多媒体功放不善于表现的弦乐也丝丝入扣。因为不太提倡以某一个曲子的个人感受来评价一个放大器，所以常常用一个自认为比较简单的主观方法来“收货”：放一批曾经听过，风格迥异，不明显有反感的音乐，总的播放时间在1个小时以上，一边听音乐一边干其他的，比如上网、玩一些没有音乐和声音的游戏等。如果连续听1个小时以上仍然没有感到厌烦或者乏味，这说明这个放大器是不错的。有些系统，你乍一听，似乎很好听，可是时间稍微一长，就觉得乏味或者厌倦，这说明这个放大器放出来的声音中有你听不到，但是会刺激你的神经的不良成分，比如轻微自激出来的超音频信号。抛开技术指标不说，这样的放大器至少不是一个好的放大器。

用RMAA（Right Mark Audio Analyzer）来测试放大器是一个简单有效的定性方法。所谓定性，是因为RMAA是针对声卡的闭环测试软件，是测试声卡自己的。如果加入了外部测试设备，得出来的数据不再准确，与传统的经典测试仪器，如失真仪，测试出来的结果不再有可比性。事实上，即使是仅仅测试声卡，RMAA的测试结果与经典仪器也有比较明显的出入，著名的创新公司曾经不买RMAA的账，但是电脑爱好者的追捧使创新公司也不得不做出让步。但是如果用两套放大器，用同一台电脑上的同一块声卡来测试，是可以进行定性比较的。手头刚好有一块3年前用实验板制作的PCM2702+LM4780（以下简称“实验板”），单电源供电，电源为分体开关电源，刚好拿来进行一下对比测试。

表3 RMAA5.5的测试结果（音量位于最大值，USB模式，线路输入）

测试项目	实验板		印制板	
	左声道	右声道	左声道	右声道
频率响应（40 Hz～15 kHz），dB	+0.20	−1.30	+0.19	−1.30
Noise level，dB（A）	−68.3	−67.9	−68.7	−69.1
Dynamic range，dB（A）	+68.1	+67.8	68.9	+69.1
THD，%	0.041	0.045	0.016	0.016
THD+N，A−计权	0.096	0.099	0.084	0.080
IMD + N，%	0.299	0.350	0.737	0.807
立体声分离度，1kHz，dB	−67.9		−70.2	

由于PCM2702没有录音功能，所以必须和电脑上的声卡配合才能完成测试：用USB声卡做放音设备，用电脑上的声卡做录音设备，尽量用线路输入方式，待测功放的输出接电脑上的声卡的线路输入。最后得到的测试结果如表3所示，从测试结果来看，用双面印制板做出来的多媒体功放（以下简称“印制板”）在技术指标上有优势，但是优势比较微弱。两套系统用同一对音箱试听，“印制板”的声场更为宽阔，但是有几乎不可闻的交流“哼”声，而用开关电源供电的“试验板”，静态时扬声器中没有一丝声音。“印制板”所用的“环牛”也是比较优秀的，看来这张印制板的售卖者宣称“耳朵贴近扬声器，里面没有任何噪声”是有一点点水分的。

◇作者简介

本人是无线电爱好者，最初对照明配电很着迷，在一次检修电度表时，竟然将里面的铁芯电感改绕成了一个电源变压器，这是那个时代我梦寐以求的东西。曾和大家一起装黄河741收音机套件，我用非常规的方法改了一只电阻的数值，当时别人装的收音机不响，而我的却响了，至今想起这件事我仍然很得意。后来有缘了解并介入了国内开发的板级电路封装技术，曾有了改装PC电源的想法，用不到50元的成本获得一个300W的开关电源，应该不是我这样一个业余爱好者的想法。

◎姜韬

用电池供电的话筒放大器

现在利用电脑来制作录音作品的朋友越来越多，而且很多朋友配备了需要幻象电源的电容话筒，为了能在没有市电，或者市电干扰严重的场合录音，我设计制作了一款用电池供电的话筒放大器（图1）。此话放电路主要是由两部分组成：一是由运放IC为核心组成的平衡输入、单端输出放大器；二是由三极管VT1、VT2及变压器B组成的隔离式DC-DC转换器。

放大器部分的电路比较简单，IC1作预放大，增益35dB，电路形式是典型的平衡输入，单端输出，以提高共模信噪比，IC2作缓冲放大，增益20dB，为了方便和普通声卡连接，输出是单端接法，两声道并联，若要立体声实地录音，则需要制作两个这样的放大器。运放IC采用的是美国德州NE5532P，相比其他发烧运放，NE5532P具有底噪稍高、解析力适中、但音色温暖等优点。音频通道的电容使用的是国产正品电解电容，退耦电容使用的是钽电解，电阻使用的是1/8W金属膜型，插接件也要挑选连接紧密不易脱落的优质产品，最好选用镀金的，以提高在复杂场地录音时的可靠性。值得一提的是老牌国产“宜春”电位器（图2），旋动时阻尼非常好，滑动噪声很低，一点都不亚于进口产品。设计总增益为55dB，稍小于专业话放的60dB。

经实测，放大部分的电流为20mA，电源部分的电流为60mA，用1600mAh的电池可以连续使用20小时左右。在制作时，用0.3mm厚的铁板和1.5mm铝板自制小机箱，电源部分和放大部分各自一块电路板，机箱内固定时彼此远离，幻象电源开关在前面板，总电源开关在背面，这样可以避免使用动圈话筒而关掉幻象电源时，误关断总电源造成意外中断录音。话筒输入插座和放大部分的阻容元件尽量靠近IC，越紧凑越好。如果电磁环境特别恶劣的话，要用屏蔽罩把电源部分和放大部分各自屏蔽起来。

电源使用一块7.2V/1600mAh自带充放电保护的锂电池，这类电池是由两块3.6V电池串联封装，从两块电池中间取出一端接地，用±3.6V给5532供电，在600Ω的负载上可以得到2V左右的峰值输出，动态足够。因为这比标准0dB的0.776V已经高出很多了。DC-DC转换部分，因为找不到7.2~48V的隔离型转换模块成品，于是我制作了一个推挽式直流转换电路。在挑选元件时，要注意VT1、VT2的一致性，

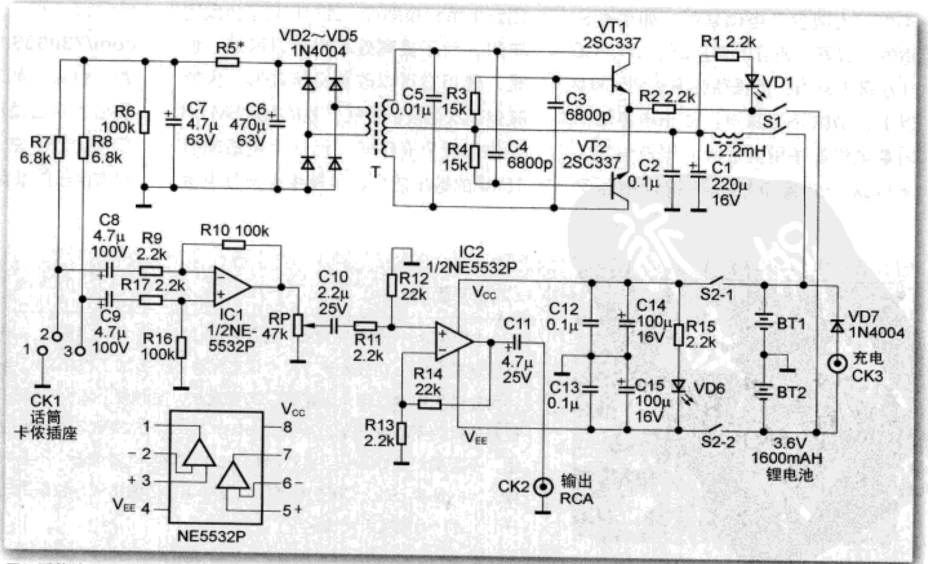


图1 话筒放大器电路原理图

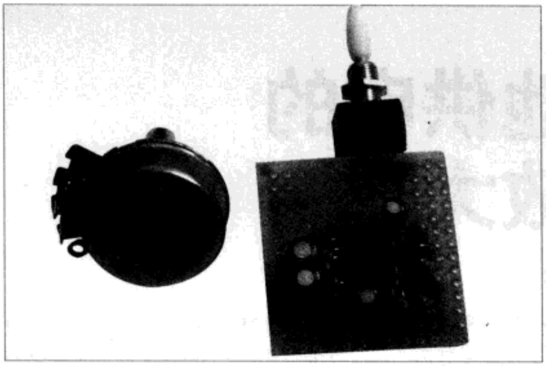


图2 电位器和放大部分

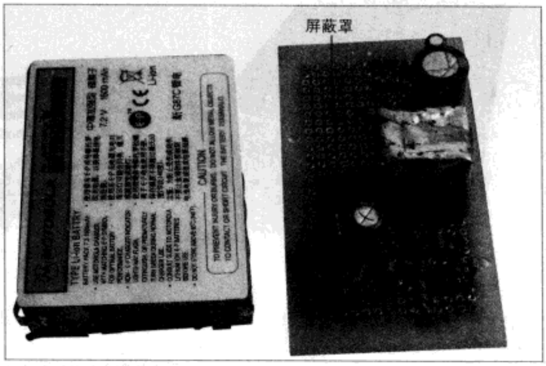


图3 电池和电源转换部分

β选100~150，误差要小于5%。变压器T是制作时的重点，经多次实验，最终我使用铁氧体E形铁芯，中心铁柱5mm×5mm，初级用Φ0.3mm漆包线双线并绕40匝，连接时注意分清同名端，次级用Φ0.1mm绕300匝，铁芯不留气隙。我的手头没有耐压50V以上的高频二极管，组成整流桥的是1N4004。本电路的振荡频率设计成12000Hz，落在音频范围内，因此，我用薄铜皮给变压器做了个屏蔽罩（图3），罩壳接地，里面灌注热熔胶，加热密封，这样既消除了噪声干扰，增强了抗潮湿能力，也减少了电磁辐射。如果有合适的二极管，还可以调整C3、C4、C5和初级电感值，使振荡频率达到50kHz以上，消除可闻噪声。由于电容话筒内置电路都是甲类放大，电流恒定，所以这个转换电路没有设计稳压环节，电路搭好后，需要先调试才能接话筒试音，调试时先用一只5kΩ可调电阻代替R5，然后根据自己的话筒的静态电流，代入欧姆定律$R=U/I$换算出等效内阻，找一只同阻值的电阻当作假负载接在R7、R8连线与地之间。接通电源，调整R5，使C7两端电压等于48V，断电测量R5，用同阻值固定电阻代换即可。图1中R2是负反馈电阻，为了提高效率也可以取消，但是，使用它可以改善振荡波形，大幅减少高次谐波的干扰，我的得胜SM-5B工作电流只有6mA，而这个电路却有15mA的输出能力，足够绝大部分电容话筒的正常使用。

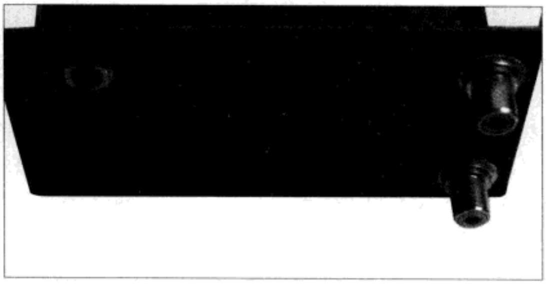


图4 外壳后部

制作好后（图4），我用这个话放配合USB声卡和笔记本电脑录制了一段小样，上传在**http://fc.5sing.com/730036.html**，从小样的效果来看，信噪比和动态范围还是不错的，录出的声音清晰、厚实，噪声低，细节也比较丰富，音质足够音乐爱好者制作自己的录音作品了。

◇作者简介

俺叫姜韬，6岁DIY启蒙，曾想用220V点亮3.8V小电珠，未果。15岁开始喜欢Hi-Fi，打造音箱数对、功放若干，至今没有满意的。参加工作15年，电气维修15年，虽数次被评为先进工作者，却无大建树。25岁成家，同时爱上耳机，580元入手SONY耳机一只，被媳妇批为不会过日子，后来买AKG、SENNHEISER至今不敢报账。受家庭影响，不吸烟、不玩牌，爱好音乐，喜欢DIY。几年前学会电脑录音，不会唱歌，只爱拆话筒，做话放。Hi-Fi是费心的，DIY是辛苦的，汗水滴落后的幸福与快乐是无价的！祝本刊读者天天开心，愿Hi-Fi烧友天天快乐！

用LME49810制作高性能功率放大器 二

◎原文/ Panson Poon
◎翻译/李宏伟

距离第一篇文章发表已有好长一段时间了（因女儿出生），现在我的小女儿已经1岁多，所以我的制作和研究又可以继续了。在第一篇文章中，曾推荐了一款采用国半高性能驱动芯片LME49810的功放。这块芯片的性能已经在不同负载下测量过。得出的建议是，驱动级必须要为输出级提供足够的驱动电流，输出级由此选择ON（安森美）的NJL3281D/1302D。这对管子由于内含偏置二极管，具有同时实现热补偿功能，因此传统的V_{be}倍乘器就可以取消了。

在本文中主要介绍电源部分的设计及如何借助仪器监测功放的THD（总谐波失真加噪声）指标、如何用频谱分析的方法来调整功放的静态电流至最佳值，最后部分是功放的性能测试结果，其中包括了THD测试、IMD测试和方波测试。

一 电源设计

本功放设计在8Ω负载上至少有120W输出。这样，每个输出级晶体管将分担1.9A的有效值电流（本功放使用了两对管子）。从NJL3281D/1302D的资料可知，其V_{ce}的线性工作区的最小值是5V，这样要满足满功率输出，电源电压(V+、V-)至少要达到49V，其计算如下：

$$P_{out}=120(W)=I^2_{out}\times 8=V^2_{out}/8$$

$$I_{out}=\sqrt{120/8}=\sqrt{15}\approx 3.87(A)$$

$$V^+=V^-=\sqrt{120\times 8}\times\sqrt{2}+5\approx 49(V)$$

电源部分电路如图1所示。V+ 及V-在满功率输出状态起码要49V，加上变压器的损耗和纹波，我们选择了未经稳压的±55V，此时变压器次级电压为交流39V。桥堆中的二极管在大电流状态下会有约1V的压降，同时我们也必须考虑市电电压的变化，这样，就需要一个双0~42V次级电压绕组的变压器，且次级必须要能提供4A的有效值电流。如果你希望在4Ω负载上得到翻倍的输出功率，就必须要有一个满足8A电流的变压器！光有大变压器还不行，大水塘式电容也是必要的。我使用了两个桥堆（B1、B2）来组成双桥全波整流，这样DC 0V也包含在整流回路中。两个整流桥中的二极管应有足够承受高浪涌电流的能力，因为在每个100Hz周期中，大水塘电容在极短时间内的充电电流很高，一般会超过100A！

在市电输入端并联一个0.15μF的X形电容可降低射频干扰。市电输入和直流输出端都带有保险丝管保护。直流输出线上的保险丝管可能会由于其微小的阻抗而在输出大信号时造成寄生纹波。曾做过一个5A的保险丝管经历不同频率下其阻抗变化的试验，其结果是在1kHz频率下会有17.43mΩ的阻抗。图2则显示的是在不同状况下直流输出的波形（在输入端交流耦合情况下测量的），从图2可以看到在100Hz纹波上面又寄生了从主放大器及整流电路窜入的1kHz干扰波。这个波形随着使用保险丝管而增大，然而，增加的寄生纹波对功放的性能并没有什么太大的影响，因为本功放有性能很高的PSRR（电源纹波抑制比）电路，它可以在输出端使此纹波大幅消除。

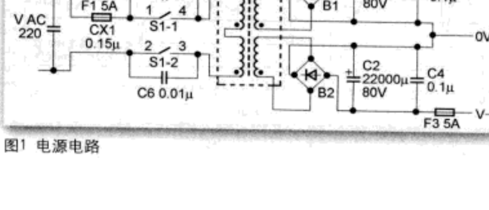


图1 电源电路

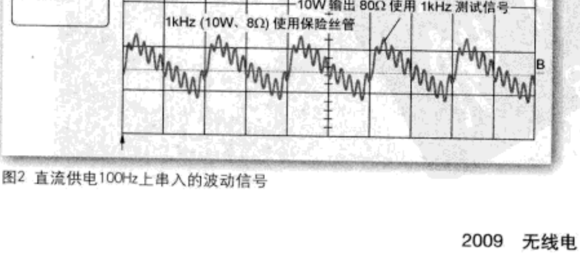


图2 直流供电100Hz上串入的波动信号

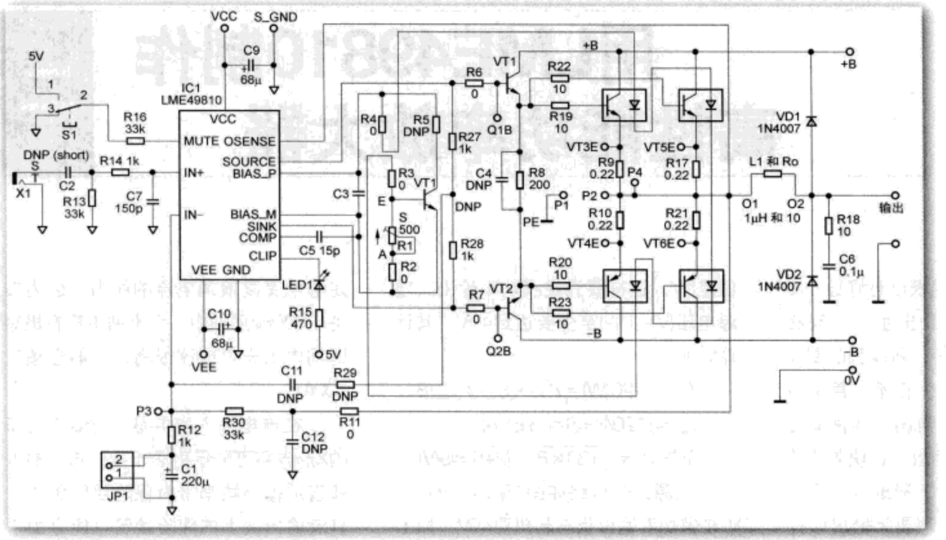


图3 功放电路图

二 不需要预驱动级

因为NJL3281D/1302D在I_c≤5A的情况下最小电流增益（h_{FE}）可达到75，此时，其基极驱动峰值电流将不超过38mA，同时，BD139/140在被用作驱动时，其最小电流增益也有40。因此，我们最多可以从LME49810吸取不大于1mA的驱动电流，这样我们就没有必要再增加一级预驱动或使用达林顿管子来满足满功率输出的需要。在LME49810数据资料中明确了在芯片的Source 和Sink引脚内部已经包含了射极跟随器电路（EF），这个射极跟随器其实已经是输出级真正的预驱动级了。图3所示的是用于后续测试的功放电路图，其中DNP表示不用安装的元件。静音控制电压(mute bias) 以及削波指示灯（clip LED）的5V电压是通过稳压管来获得的。

三 调试步骤

笔者建议在功放调试过程中采用逐级测试的方法（从LME49810到输出级），这样的步骤有助于尽早发现问题并及时排除。本功放分3步来调试：即单独的LME49810、LME49810加驱动级以及完整的放大器。

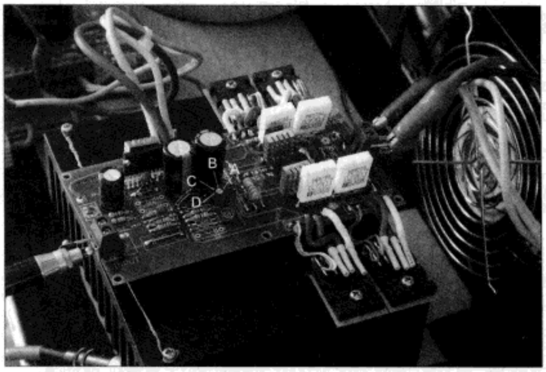


图4 调试中的功放

首先不安装驱动级部分的电路，按照LME49810 资料搭建了负反馈环路，使电路可以正确工作，并测量电路是否存在任何不正常的状况，本部分电路仅需要20mA的工作电流。在输出端接上示波器，并在输入端注入正弦波信号，如果在输出端可以见到放大后的正弦波，就可以进入下一步骤。

第二步，焊接上驱动级部分电路，并重复前述步骤直至正常工作。此步骤调试中要加入静态电流调整电位器来提供驱动级的偏置电压。

最后一步，加上输出级的电路即功率管部分。切记：务必在每条直流供电线上串联一个33Ω的电阻以提供过流保护。如图4所示，将静态电流电位器调节到A的位置，这将使静态电流调节到最小。如果33Ω电阻上的电压没有超过1V，恭喜你，这个电路看来已经基本上可以正常工作了。我们也要顺便检查下输出中点电压，正常情况下应该在10mV内。然后，我们可以继续调节此电位器来观察33Ω电阻上的电压读数是否有相应的变化。电路初始设定每个输出功率管的静态电流为50mA。正常情况下，将电位器调节到B位置就可以达到这个静态电流。我

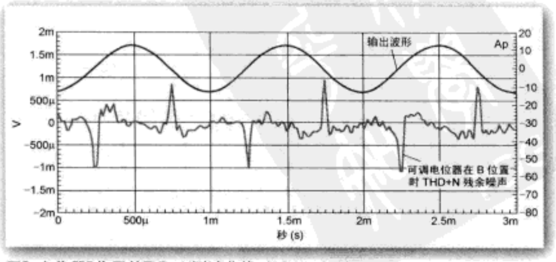


图5 电位器B位置的THD+N测试曲线（10W、8Ω）

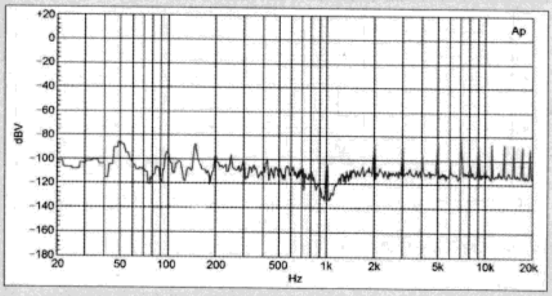


图6 电位器B位置的THD+N测试曲线

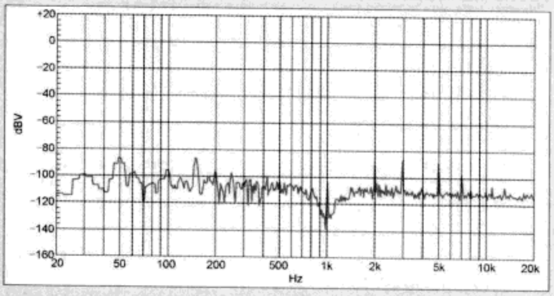


图7 电位器C位置的THD+N测试曲线

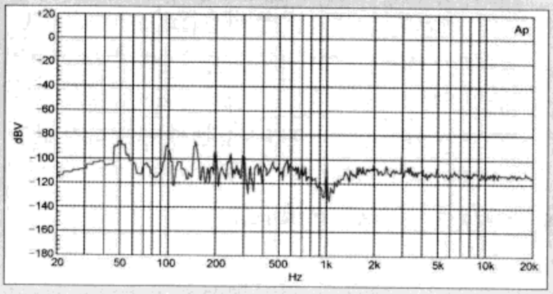


图8 电位器D位置的THD+N测试曲线

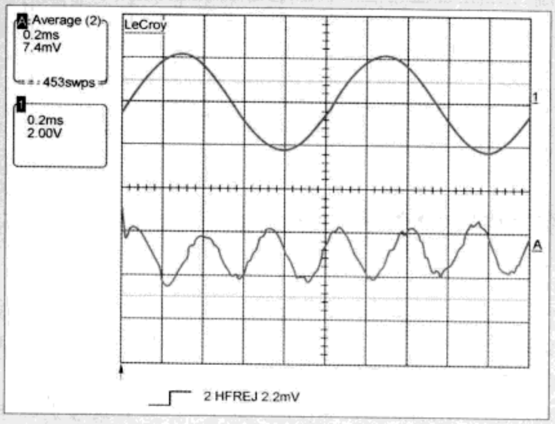


图9 电位器D位置的THD+N测试曲线（30W、8Ω、1kHz）

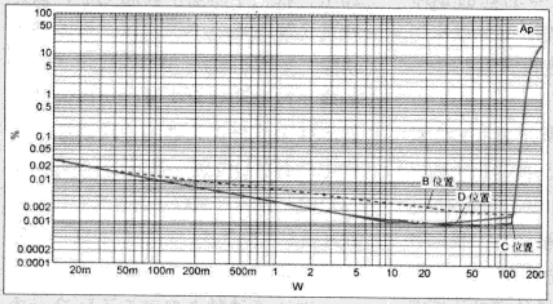


图10 电位器不同位置下THD+N曲线的对比

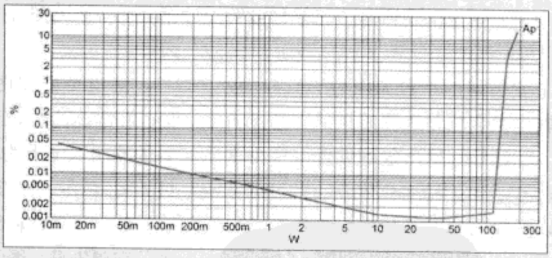


图11 不同输出功率下THD+N对比（1 kHz、8 Ω）

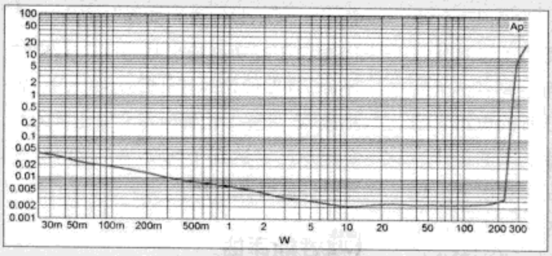


图12 不同输出功率下THD+N对比（1 kHz，4 Ω）

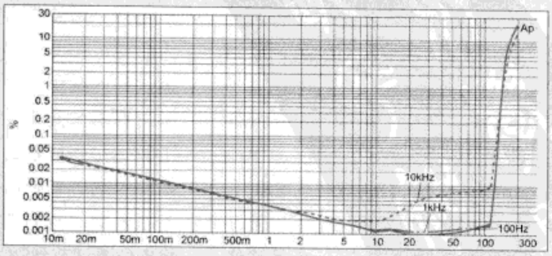


图13 10kHz、1 kHz 和 100 Hz时THD+N对比

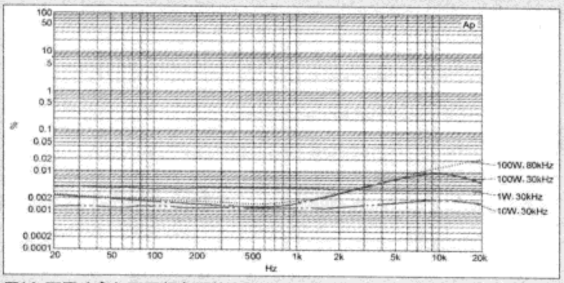


图14 不同功率与不同频率下的THD+N对比

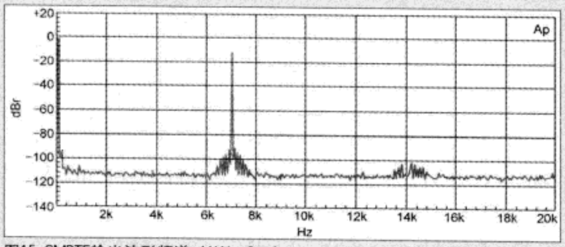


图15 SMPTE输出波形频谱（1W，8Ω）

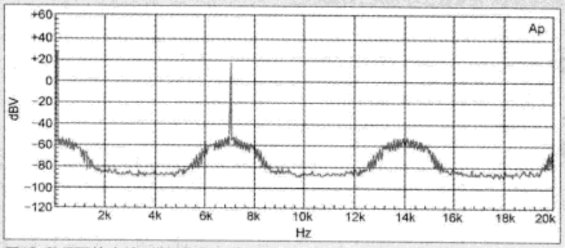


图16 SMPTE输出波形频谱（90W，8Ω）

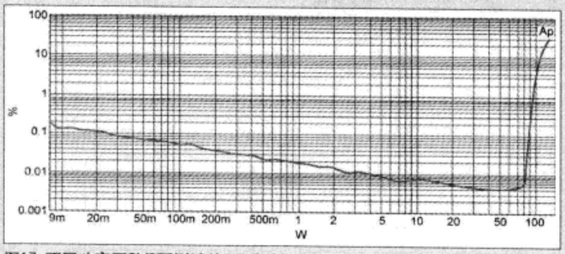


图17 不同功率下SMPTE测试的IMD失真对比

们可以在调节电位器时，监测任意一个功率管的发射极电阻上的电压降来观察静态电流的变化，当电阻上的电压为0.22(Ω)×50(mA)=0.011(V)时，就调节到了设计的初始静态电流。

下面所做的工作是找出最佳偏置点（静态电流）。

安装好的功放如图4所示。功放的输出级调整到通常所谓的甲乙类状态。驱动级和输出级的偏置电压由连接在芯片BiasP和BiasM引脚上的可调电阻以及输出功率管的内置二极管共同产生。从LME49810的数据资料可知，BiasP和BiasM引脚可以提供典型值为2.8mA的电流。假设所有晶体管的V_{be}导通电压为0.6V，则偏压至少要调节到1.2V以上才可使驱动级和功率级的管子都导通工作。理论上可调节电阻计算方式为1.2/0.0028≈428.5（Ω），本电路中使用了一个500Ω的可调节电阻。

我们希望在输出波形0点的位置且在小功率输出状态时，有一个足够使所有的输出管子维持导通状态的偏置电压来避免交越失真。在偏置调节的同时，我们测量了输出波形的THD+N指标并进行了 FFT（快速傅里叶变换）频谱分析。

在缓慢调节电位器的同时测量1kHz信号在8Ω负载上输出10W功率时的THD+N。仪器的带宽设定为22Hz~30kHz。

当电位器如图4所示置于B位置时，THD+N为0.0056%，此时每个输出管的静态电流大约在8mA。THD+N曲线如图5所示（已去除基波），我们可以清楚地发现在输出波形的0点附近发生了交越失真。图6所示的频谱分析图也验证了有大量的谐波产生，相比输出电平，谐波失真在-80dB以下。有人会说，如此低的失真将不可耳闻，调试到此结束了。然而，笔者认为对于工程技术而言，对已有的电路进行不断优化是最基础、最必要的工作。如何影响听感则因存在主观因素，这不在本文讨论的范围内。当我们逐步将电位器调节到C位置时，此时静态电流已经增加到每输出管80mA，THD+N则降低到了0.0035%，此时相应的FFT频谱测量图如图7所示。从图中看，虽然性能得到了提升，但依然还存在一些高次谐波成分。在分析仪继续监测下，我们不断增加静态电流，最终在某个静态电流下三次以上谐波基本消失，如图8所示。图9则显示了此时的输出波形和残余失真，可以清楚地看到残余成分仅为纯的三次谐波。这是电位器的D位置，其THD+N指标为0.001%（加入了400Hz高通滤波器以滤除100Hz哼声干扰，目的是观察一些微小的差异）。

对比三种静态电流在不同输出功率下所测得的THD+N值（电位器分别置于B、C、D位置）如图10所示。我们发现在大功率输出状态下，当电位器调节到D位置时其THD+N要比C位置稍微高一些。D位置时每个输出管的静态电流已经达到了400mA，此时散热器已经是相当的烫了。

四 性能评估

我们对本功放在8Ω负载和4Ω负载下不同输出功率的THD+N进行

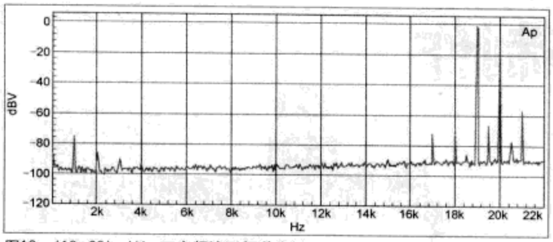


图18 （19+20） kHz 双音频波形频谱分析

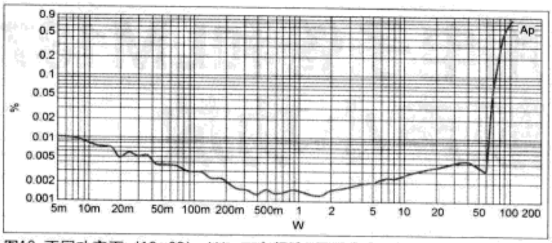


图19 不同功率下（19+20） kHz 双音频波形IMD失真对比

了测量和对比，仪器测量带宽定为22Hz~30kHz，一个1 kHz信号被输入到放大器。从图11和图12中观察，在8Ω和4Ω负载时，输出功率在THD+N为1%时分别达到120W和240W，本功放完全达到了我们期待的输出能力。当驱动4Ω负载时，失真略有增加。不同输出功率时THD+N在100 Hz、1 kHz 以及10 kHz时的AP图（音频分析仪）如图13所示。

接下来测试功放在音频频谱中的THD+N指标。我们测量了输出 1W、10W 和100W时的 THD+N，从图14可以发现，失真随着频率的增加而逐渐增加，这在大部分带有负反馈的放大器中是个典型的趋势。当频率增大时，随着开环增益的下降，反馈量也减少。功放在整个音频频谱范围内均达到相当低的失真率。

常规的THD+N分析对于评估功放的线性放大能力是个有力的工具，然而，它无法对10kHz以上的频率提供精确的测量。在实践中，失真仪仅会在其测量带宽内综合统计下降趋势的谐波成分。假设仪器带宽设定为22 Hz~30 kHz，则失真仪只会统计到10 kHz信号的三次谐波成分。当然，我们完全可以通过放宽带宽来统计更多的谐波，然而，这样做也使噪声中的功率增加，使谐波失真不能得到精确测量。

另外，采用同时给功放注入两个不同频率的正弦波信号的方法，也是衡量放大器高频线性度的一个有效办法。因为功放几乎都存在非线性的因素，因此其输出中必然包含两种正弦波的互调失真成分(IMD= intermodulation distortion)。我们可以按照SMPTE（美国影视技术人员协会）协会和 CCIF（国际电话咨询委员会）协会推荐的方法来完成功放的IMD测量。SMPTE测试指定了两个频率：*f*1=60Hz 以及*f*2=7kHz，高频率信号和低频率信号按照1:4的幅度线性混合后输入功放。如果功放存在IMD失真，则在输出信号中，高频音调信号周围将产生边带族频谱（*f*2±*f*1、*f*2±2*f*1等）。图15显示了1W输出下SMPTE的频谱测试，7kHz信号环两侧有上述提到的多个边带。如果输出功率提高到90W，则边带信号也被充分放大，如图16所示。在不同功率下SMPTE测试的IMD失真对比如图17显示。

使用两个相同幅度的双音高频信号（*f*1=19kHz以及*f*2=20kHz）同时输入功放，是CCIF协会用来测量功放的IMD失真的方法。我们只给出 *f*2–*f*1的差频（1kHz）的低频段IMD失真。图18显示了（19+20）kHz双音频信号下的测试频谱，相对测试信号1 kHz差频的谐波失真大致为-76 dB。不同功率下失真度变化如图19显示。

然而，我们也迫切需要一个衡量功放稳定性的办法，最直接的方法就是环路增益测量法。使用方波信号来测试功放就是一个好办法。本功放输入了一个20kHz的方波信号，输出波形如图20显示。功放输出方波的上下沿没有任何振铃现象，说明本功放非常稳定。

综上所述，无论从哪个角度看，本功放在所有测试中都表现出了超强的性能。LME49810芯片使设计和制作高性能功放变得更简单。

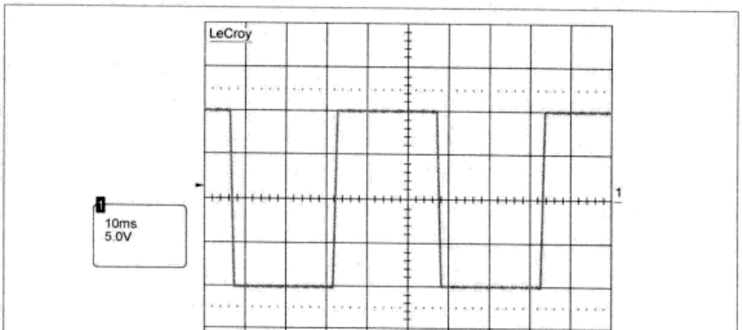
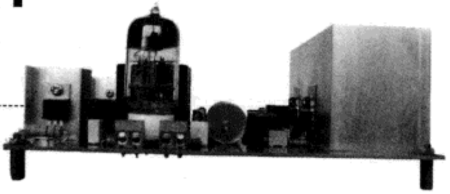


图20 方波测试以检验功放稳定性

用电子管和LM1875制作靓声小功放

◎何立基



以前笔者也是一个“胆”（电子管）盲，和音响发烧友们交流时，最痛苦的就是他们滔滔不绝地讨论起那些胆管的型号和用法。现在我还清楚地记得自己第一次拿“胆”管来做实验时的情景：用一只次级电压是6.3V的变压器和一只叫6N2的“胆”管，把6.3V的交流电压加到6N2的灯丝引脚上，把灯丝点亮，让6N2成了一只小小的灯泡，这个实验就算是完成了。

随着这几年对电子管知识的学习，发现电子管的种类相当多，产地也十分广泛，部分电子管的生产时间甚至可以追溯到第二次世界大战之前。对喜爱电子制作的朋友来说，可喜的是现在只需要花上七八元钱就可以买到一只20世纪60年代、70年代生产的、品相完好的小九脚电子管（如6N1，6N2，6N3等）。

随着计算机技术的飞速发展，电脑音频的应用极大地丰富起来，家用电脑没理由不配声卡和多媒体音箱。而谈起多媒体音箱，大伙最爱谈的就是里面所使用的功放芯片。笔者所要介绍的，也正是在多媒体音箱中使用数量巨大、有口皆碑的美国国家半导体公司生产的功放芯片LM1875。该芯片是音响DIY界中的常青树，以其音色细腻醇和而著称。其缺点是开/关机没有静音功能，会让扬声器发出讨厌的“噼啪”声。

图1

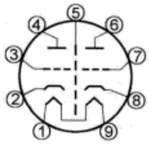


图2

在目前多媒体音箱的功放线路中，使用最多的是运放IC +功率IC的线路架构，如NE5532+LM1875。NE5532一般接成5~10倍的放大器，LM1875一般按标准接法接成20倍的放大线路。出于对电子管那迷人的特有音色的喜爱，笔者决定使用电子管 + LM1875的线路架构来制作一款简易靓声的小功放。首先需要解决的问题主要有两个：第一，电子管的工作电压一般都比较高，这个高压如何得到？第二，运放IC + 功率IC的线路架构具有较高的开环增益，用电子管和功率IC能否达到这个增益要求？对于第一个问题，最简单的办法就是在电源变压器的次级绕组上增加一组高压输出，但这样做会使整个线路变得复杂，元件增多，对于刚刚接触电子管的朋友来说无疑增大了制作上的难度。在LM1875的技术文档中介绍该芯片的最高工作电压是 ±30V，笔者决定使用 ±28V 给LM1875供电，同时使用±28V所形成的56V 电压差来给电子管供电。这样的供电方式在一些商品化的产品中已屡见不鲜，其中最有名的当数英国音乐传真生产的一款被称为“音乐猪仔”的耳机放大器。对于第二个问题笔者的考虑是在56V的供电电压之下，把电子管接成阴极输出器（缓冲器），利用其输入阻抗高，输出阻抗低，放大系数略少于1，具有较强的驱动能力的特点来驱动LM1875，同时适当提高LM1875放大线路的放大倍数，把标准线路中的放大20倍增加到放大27倍。

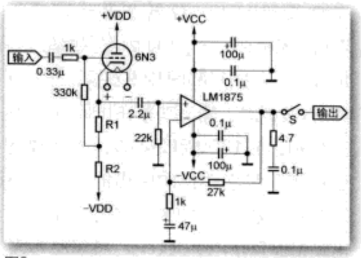


图3

在目前国产电子管中比较适合于低压供电状态下工作的电子管当数6N11和6N3，它们都是小九脚电子管，管脚的排列顺序有所不同，它们分别如图1、图2所示，其相应的放大部分的电路如图3所示，电源及继电器控制部分的电路如图4所示。给LM1875供电的双20V交流电压经过整流滤波后能得到±28V的直流电压，该电压再经过RC滤波电路，变成更加平直的直流电压，供给电子管工作。对于电子管6N11和6N3，由于工作特性曲线的不同，在此电路中需要更改电阻R1、R2的取值。在实际使用中，当使用6N11时，R1用330Ω，R2用3.3kΩ。当使用6N3时，R1用470Ω，R2用12kΩ。在图4中使用了直流稳压芯片LM7806给电子管的灯丝供电，使线路具有更高的信噪比。继电器在电路通电12秒后才接通，其目的是让电子管预热到一定的工作温度，让电路

一款实用的功放保护电路

◎陈吹信

功率放大器的最后一级需要有较大的电流才能推动扬声器发出声音，但当电流超过一定的限度时，扬声器又会烧毁，所以很有必要设计一个负载保护电路。图1所示的是一款为功放电路制作的保护电路，其工作原理是：当电源接通时，C2来不及充电，VCC通过R3和R4分压给VT2的b极提供电压，使VT2导通、VT3截止，此时继电器无电流不能吸合，负载无输出，这可防止通电瞬间冲击电流损坏负载和功放。然后VCC通过R3和R4、C2、VT2发射结充电，电容充电结束时VT2截止，VT3导通，继电器吸合，功率放大器有输出。如果功放输出过载，即输出电流平均值超过保护设定值时，则VD1导通，VT1、VT2也导通，VT3截止，继电器释放，同时C2通过VT1、R2放电。当功放输出电流

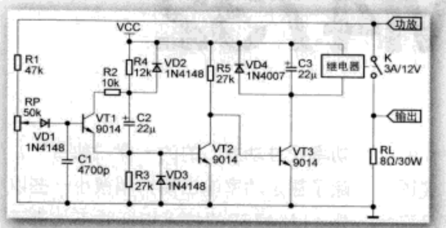


图1

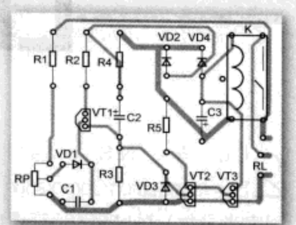


图2

降低后，VT1截止，VCC再次通过R3、R4、C2和VT2发射结充电，VT2继续导通。当C2充电结束后，VT2截止，VT3导通，继电器吸合，功放重新输出。VD4、C3是用于吸收继电器线圈尖峰脉冲，RP用于设定保护电压。

该保护电路模块可以与功放电路放在一起，也可以单独做成一块小板，图2所示的是单独成板保护电路的PCB。在该图中，RL两端引线接扬声器，R1的上端引线接功放输出端，R4的上端接电源，此电源与功放板的电源相通。把功放的声音开到最大，调节电位器RP，使保护电路不起控，然后RP的位置不动。若输出过载，该电路会自动起控，断开扬声器。将元件逐个焊接在印制电路板上，元件的引脚要尽量短，注意三极管的引脚不要插错。焊接时，应选择20~35W内热式或恒温式电烙铁，一般选用小型圆锥形烙铁头，焊接后应剪去多余的引线，并清洁电路板。

中的耦合电容完成充电，从而屏蔽了在线路不稳定时间内输出的杂音。制作完成后实测电阻R1两端的电压，6N11的工作电压约为0.8V时,屏流约为3mA。6N3的工作电压约为0.7V时，屏流约为1.5mA。制作完成的线路板实物如图5所示。

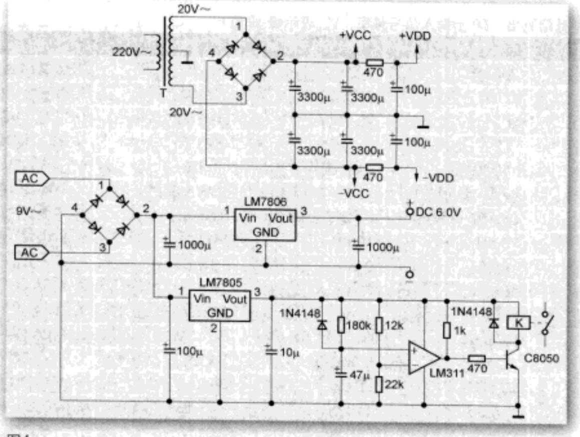


图4

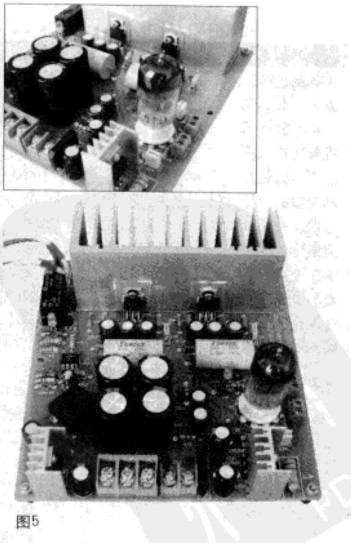


图5

将这两款使用不同“胆管”做缓冲输入的功放分别连接到电脑声卡的音频输出，驱动笔者自制的书架箱，播放笔者熟悉的音乐选段，经过反复比较发现使用6N11缓冲的功放声音柔和醇厚，使用6N3缓冲的功放声音柔和细腻，各具特点。在此将制作过程写出来，和喜爱电子DIY制作的朋友一起分享。

LM4780的同门兄弟——LM4732

◎梓门

2008年，NS（National Semiconductor Corporation，美国国家半导体）的LM4780可谓出尽了风头，爱好者趋之若鹜，媒体好评如潮，DIY（Do It Yourself，自己动手做）市场新品迭出。笔者接触LM4780并不算迟，不过最先入眼的却是NS的LM4732，之后的半年，大约是2007年的6月份才接触到了LM4780，也许是先入为主，或者是音源器材配置以及环境所致，以笔者的感觉，LM4732反而要好一些。

一 LM4780是数字音频、D类功放时代大功率线性功放IC的一棵“独苗”吗?

LM4780显然不是D类功放时代大功率线性功放IC的的一棵“独苗”，除了额定功率输出能力稍微小一些以外，LM4732的技术指标并不太逊于LM4780，两者的上市年代、封装形式、引脚定义、目标市场均相同，从听感来评判，笔者觉得LM4732更有韵味。

的确，在大功率单片线性功率放大器集成电路市场，如今的NS公司的确是一枝独秀，日系的TOSHIBA（东芝）、SANYO（三洋）早已隐退，欧系的Philips（飞利浦）、ST（STMicroelectronics，意法半导体）也已淡出，飞利浦的半导体部门如今是NXP（恩智普）公司，NXP和ST都已经转向D类功放IC市场，NXP则转向了车用功放领域，近几年在线性大功率音频功放IC方面有作为的，还真是只有NS一家。

LM4732与LM4780的产品系列也是大致相同的，均有三声道版本，LM4780系列不包括LM4781（静噪控制功能）和LM4782（静噪与待机控制功能）两三个版本，LM4732系列与之类似的是LM4733、LM4734，其中LM4734的上市时间晚了大约3年。同时，LM4732系列还有封装形式不同的更多成员，包括LM4730和LM4731，均是15引脚的TO-220封装。因篇幅所限，表1仅列出了LM4732引脚兼容系列和LM4780的对比。

或许是市场太热了，假货应运而生，不少爱好者反映，LM4780有假货，好像并非仿制，而是以坏充好；

表1 LM4732系列与LM4780的对比，技术参数以典型数值列出（f表示输入信号频率，V_{P-P}表示峰-峰值）

技术参数	符号	LM4780	LM4732	LM4733	LM4734	备注
大致上市时间		2003年	2003年	2003年	2006年	技术文档的首次公布时间
最大耗散功率	P_d	125 W	125W	125W	125W	IC装有合适的散热器
工作电压范围		20～84V	20～80V	20~64V	20～60V	VCC与｜VDD｜之和
推荐工作电压	V_s	±35V	±29V	±24V	±21V	VCC=｜VDD｜
静噪抑制能力	Am	110dB	110dB	110dB	110dB	V_{MUTE}= 2.5V（静噪控制电压）
额定输出功率（8Ω）	P_o	60W×2（0.5%）	42W×2（1%）	25W×3（1%）	18W×3（1%）	f = 1kHz，括号内为THD+N
总谐波失真+噪声	THD+N	0.03%（30W）	0.01%（1W）	0.03%（1W）	0.03%（1W）	括号内为P_o
通道分离度	Xtalk	70 dB	70 dB	70 dB	65dB	P_o= 10W，f =1kHz
电压变换速率	SR	19 V/μs	19V/μs	9 V/μs	18V/μs	V_{IN}= 2.0V_{P-P}，t_{RISE}= 2ns
静态电流	I_q	110 mA	105mA	72mA	75mA	I_o=0mA
输入失调电压	V_{os}	1 mV	1 mV	1 mV	2.0mV	I_o=0mA
输入偏置电流	I_B	0.2μA	0.2μA	0.2μA	0.2μA	I_o=0mA
电源纹波抑制比	PSRR+	120 dB	62 dB	59 dB	75dB	$V+$ =VCC + V_{RIPPLE}
	PSRR−	105 dB	89 dB	85 dB	64dB	$V-$ =VDD + V_{RIPPLE}
开环增益	A_{vo}	115 dB	115 dB	115 dB	115 dB	R_L= 2kΩ，ΔVo= 40V
输入电压噪声	eIN	2.0μV	2.0μV	3.0μV	2.0μV	R_{IN}= 600Ω
最小稳定增益	G_{min}	10V/V	10V/V	10V/V	10V/V	增益过小IC会不稳定
最大稳定增益	G_{max}	50V/V	50V/V	50V/V	50V/V	增益过大会增加噪声和THD
千片订货价格（美元）		6.16/片	7.78/片	6.12/片	6.48/片	制造商公布的价格
目标市场		立体声组合音响 立体声微型组合 有源音箱 高清电视	立体声组合音响 立体声微型组合 有源音箱 高清电视	立体声组合音响 立体声微型组合 有源音箱 高清电视	立体声组合音响 立体声微型组合 家庭影院 高清电视	官方技术文档推荐的

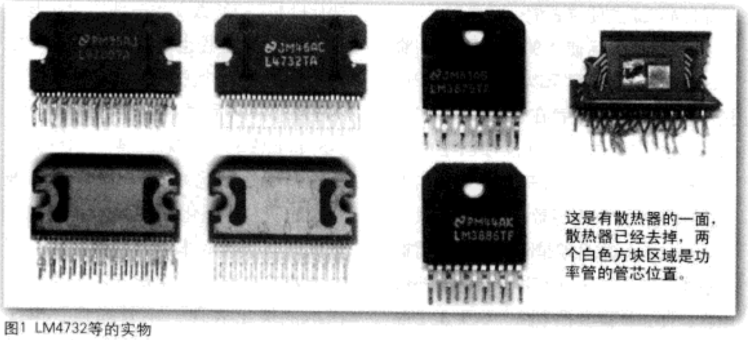


图1 LM4732等的实物

还有一种更害人的，只有一个声道是好的。有非官方的声音说，LM4780其实就是好评如潮的LM3886的双声道版本，而LM4732则是在DIY圈内更受欢迎的LM3875的双声道版本，相比之下，LM4732在国内并不常见，LM3875也是如此，假货尚未见公开报道。也就是说，即便LM4780是奇货可居而不易得，LM4732就恰恰给了我们一个不错的第二个选择。图1所示的是这些IC的实物照片，它们来自NS的分公司而非代理商、经销商，假的可能性可以排除。笔者手头已经没有全新的LM4780了，只好用一个引脚上过锡的来拍照了。图中还有一个已坏掉的解剖图，如果你的刚好也损坏了，也可以把它破坏掉来一辨真假。

要说特征，首先是印字，型号标识中并没有M，即LM4732是L4732，其次，NS公司的IC并不使用激光印字（就是那种暗淡不易看清的淡金色或者与封装本体颜色一致的字迹），而是白色印字，似乎是油墨丝印，看起来像手写体，虽然没有激光印字看起来舒服，却是自己的明显特征。再者是散热片和引脚的外观，两者都不是光亮的，而是暗暗的白色亚光，并且不光滑，好像有一层霜的感觉。还有就是引脚焊接时的感觉。在焊接时，引脚不需要预先镀锡或者上松香之类的助焊剂，直接焊即可，很好焊，没有“不吃锡”的情形。

二 LM4732是LM4780的缩水版或者精编版吗?

.LM4732应该不是LM4780的缩水版和精编版。从表1的数据来看，LM4732的公开售价最高，缩水或者精编版本应该便宜一些才对嘛。有未经证实的资料说，LM4780的核心和LM4732是相同的，所谓核心，就是IC内部的芯片。之所以有人推测LM4780是LM3886的双声道版本，是因为有人获得了两者内部的等效电路原理图，据说是从NS公司内部流出的，因为NS官方并不对外公布这些，LM4780的内部等效电路如图2所示，LM4732的则还未现身。从这张图的左上角可以发现，这件事情的始作俑者是Glenn Baddeley，不过也说明了这张图是源于LM3886的。笔者用红字注释了图中不常见的元件画法，图中所有的元件都是没有管壳的，无源器件也与常见的不同，电阻并非金属膜或者碳膜，而是属于硅薄膜电阻。IC需要外围元件，其原因是电路需要根据实际应用进行灵活调整，另一个原因是非半导体器件的集成成本比较高，性能却并不见得好，而且有些还难以集成，比如传统的绕线型电感，功率有限的叠层电感采用厚膜工艺已经可以集成。Glenn Baddeley应该算是一位“骨灰级”的爱好者，现就职于IBM（International Business Machines Corporation 国际商用机器公司）的澳大利亚公司，即IBM-GSA，一家由IBM和澳大利亚的Telstra（澳大利亚电信）、Lend Lease（联盛）两家公司共同组建的合资公司，之前，Glenn Baddeley在Telstra以系统程序计划员的身份工作了近14年。

还有一个依据是，LM4732的功

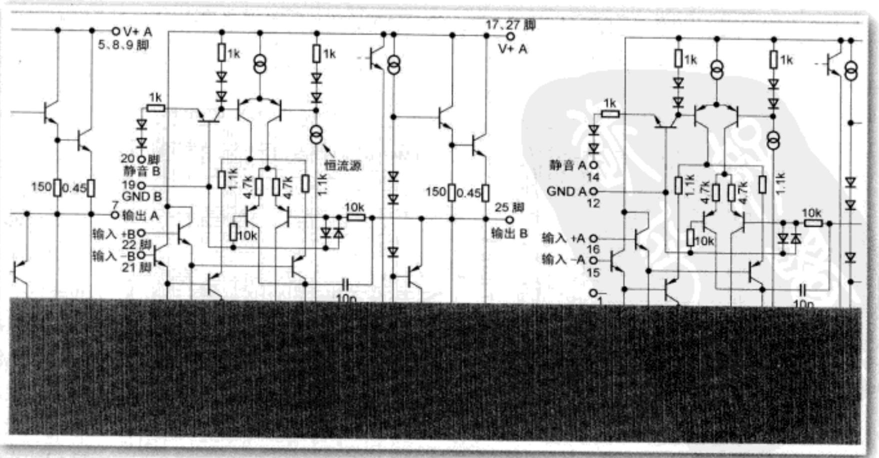


图2 LM4780的等效内部电路原理图

率输出能力比LM4780略小，工作电压略低，THD+N指标略差。而半导体芯片制造业有一个惯例，那就是根据芯片的测试结果对芯片进行分级，然后按照不同的型号或者不同级别进行销售，我们常见的所谓民用品、工业品、军用品大致就是这样生产制造的，有点像超市里装箱的水果和地摊上散卖的水果，其实是同一颗树上的，只是进行了分级而已。所以有人推断LM4732就是有缺陷或者测试评级略低的LM4780。不过仔细查阅相关资料，LM4732虽然和LM4780是同年上市，但是LM4732的上市时间要早几个月。新西兰的一位爱好者对LM4732进行了极限测试，发现LM4732的功率输出能力要比NS官方公布的数据要大不少。而国内的爱好者在使用LM4780时发现，如果供电电压采用NS推荐的典型工作电压，而电源又是非稳压的话，LM4780会比较容易损坏，需要说明的是，常见的基于工频变压器的电源都是非稳压的。同时还有一个现象是，很多爱好者都觉得LM4780的发热量似乎太大了，不太好处理，NS引以为豪的“SpiKe”保护机制在LM4780中也似乎不是万无一失的。笔者也有同感，图1所示的就是一个供电电压偏高但是并没有超过NS推荐值造成LM4780烧坏的例子，而在使用LM4732过程中，笔者尚没有发现这样的实例，也许是LM4732的使用者偏少的原因。

从笔者实际使用的情况来看，除了LM4732似乎更耐用以外，LM4732也更不容易自激。笔者在装配LM4780的时候曾经按照惯例，在反馈回路中加入了补偿电容，NS公开的技术文档也有介绍，结果反而导致LM4780自激，因为反馈补偿本身就是限制带宽从而抑制自激的，所以一开始并没有怀疑补偿电容，而是怀疑其他电路，结果走了很多弯路并导致一片LM4780的一个声道损坏，在逐个代换元件时，才发现是补偿电容惹的祸，真是有点“画蛇添足”啊。同时，在对比试听的时候，以笔者的耳朵来判断，发现LM4732似乎更耐听，更温暖，长时间试听不感到烦躁。这一点倒是和LM3886与LM3875的情况很类似，发烧友喜欢LM3875也是这个原因。

图3显示的是LM4732和LM4780的THD+N的输出功率曲线图，通常称为失真曲线图，从图上可以看出LM4732与LM4780有很大的相似性，对比20kHz的失真曲线，可以发现LM4732的曲线在下降段的中部有略微的隆起，而LM4780则是近似均匀的下降直至陡升。LM4732的曲线波谷对应的输出功率大约是42W，而LM4780则是大约58W，的确大了不少。需要指明的是，两者的失真曲线是在不同的供电电压下测得的。从曲线上看，LM4780要比LM4732略微优秀一些，对比其他科目的性能曲线也是如此，不过，技术曲线只是一个方面，并不是全部，这些细微的差别并不能说明LM4780的实际音频性能一定就比LM4732优秀。

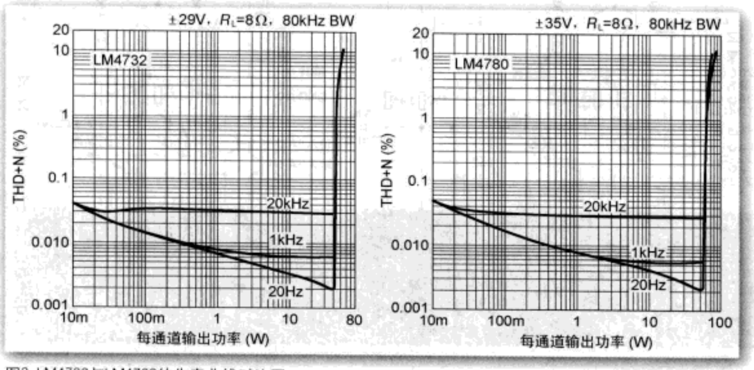


图3 LM4732与LM4780的失真曲线对比图

从上述情况来看，LM4732不像是LM4780的简化缩水版，而是像介于民用与工业版本中间的商业版，即追求稳定性和性能平衡而不是某一个指标的突出表现。不管如何，除了LM4780，至少我们有了更多的选择，不是么?

三 “一点接地”并非虚言

有爱好者感叹道，玩音响其实玩的不过是地线，失真不说也罢。虽然不免偏颇，却也道出了音频功放的一个看似简单却大有内涵的玄机。布线、布线、还是布线。从用电子管的“胆机”到用晶体管的“石机”，令爱好者最为头疼的事情，也是很多音响厂商的不传之密，就是布线。而布线的核心，除了信号线的走向和元件布局，最为关键的就是电源的布线，而关键中的关键，是地线。地线搞不好，“哼”声一片是必然的。虽然静态指标好的功放不一定就是优秀的功放，可是静态指标不好的功放一定不是好功放。要做到在静态的时候，即没有信号输入，功放处在正常工作状态下，在安静的环境里，耳朵贴近音箱面网，听不到噪声，尤其是低频哼声，无论是过去还是现在，都是一个不小的挑战，均是功放设计布线的关键和难点。对于D类功放而言，还有其特有的高频“嘶嘶”声，虽然主要是其电路拓扑和工作状态造成的，但和布线也不无关系。

LM4732的典型应用电路和印制板设计和LM4780是完全一样的，无论是网上还是传统的电子音响类杂志上都很容易找到，这里不再赘述。而关于它们的布线设计，尤其是以“一点接

地”为代表的地线布线方法，很多爱好者似乎还是不得要领，从很多制作报告看出，底噪，即静态噪声还是难以控制。LM4780是高度集成的功放集成电路，外围电路是比较简单的，而且其PSRR性能也比较好，对电源噪声的抑制能力还是比较强的。而从输入端串入的感应噪声大多可以由金属机箱的屏蔽解决，而且现在动辄使用双面印制板，其实大面积铜箔地线也可以很好地屏蔽感应噪声。究其底噪明显的原因，大多应该是地线的接地方式有问题，用印制板图不太容易说明这个问题，图4用原理图的方式来说明LM4780和LM4732应该如何进行地线的一点接地，早期的日本厂商也常常用这种方式来画电路图，虽然不利于读图，但是对实际电路的布线是有很大帮助的。

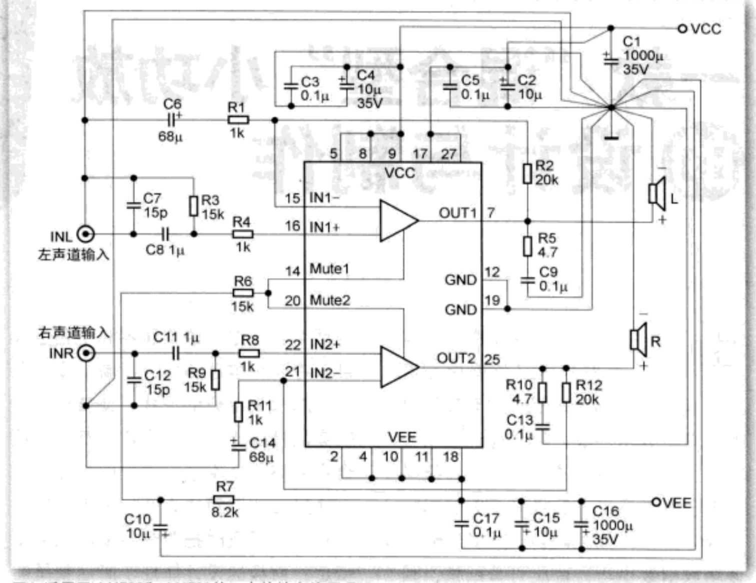


图4 适用于LM4732和LM4780的一点接地布线原理图

对放大器而言，不同功率、不同特性的电路单元的电源应该分别走线和退耦，因为导线实际上是有电阻的，会导致噪声相互传导，如功率比较大的输出级、前级以及推动级、线性电路和开关电路，模拟电路和数字电路等。对功放集成电路而言，主要是处理好大功率部分和功率比较小的前级推动部分的地线连接方法，如图4所示。

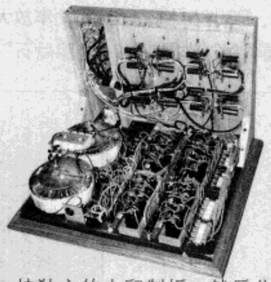
正负电源的主滤波电容C1和C16的接地点的中间部位作为整个单元电路的公共接地点，两者的接地引脚应该尽量接近并使用单独的一块面积稍微大一些的铜箔。但不是越大越好，如果铜箔搪锡的话，这一块铜箔小一点更有利，更接近于“一点”接地。两个声道的输入端的地线分别走线有利于提高通道分离度，反相输入端可以和正相输入端一并走线，但是要注意，反馈电阻R2和R12应该优先接近输出端，以便和大信号电路隔离。而消振电路（通常称为如贝尔电路）的R5/C9以及R10/C13应该分别单独接地，这是不少爱好者容易忽略的。相比之下，静噪控制延时电路退耦电容C10的接地要求就不太严格，可以单独接地，也可以就近接地。

还有一个容易忽略的问题是，无源器件的精度，不但影响输出中点电位，对静态噪声也是有影响的。不难理解，输出中点的电压偏离0V越多，噪声也越大，尤其是桥接（BTL）应用时，更是如此。图4中的R2/R12、R1/R11、C6/C14、R4/R8应该对应配对，使之误差尽量小，尤其是业余条件下的元件来源没有保证，即使是所谓的五环电阻和补品电容，也不应该过分相信自己的器件而应该不厌其烦地进行测试。Ⓦ

他山之石

◎吴玥

这是美国一位网名为“rgrayton”的发烧友DIY的8声道功放，用8片LM4780组成115W×8的全集成大功率功放，变压器是两个800W的环形变压器，电源部分的滤波电容总容量为172000μF，由多只电容并联而成。另外，每块功放板上还有两只1500μF的电解电容。值得一提是，这个功放还是木质外壳的，其结构如附图所示，图中的下半部分是电源部分，上半部分是8组LM4780功放，每片的LM4780



用一块独立的小印制板，然后分别固定于同一块铝板上。这样的设计当然也可以用LM4732来实现，输出功率就变为110W×8了。这个功放用于一般家居环境进行7.1重放是比较理想的，可以满足一般Hi－Fi的需要。Ⓦ

◎何立基

一款“混合型”小功放的设计与制作

电子管在音响发烧界被称为“胆管”，当管内的灯丝慢慢点着时，很多朋友都会被那柔和而又神秘的光辉所吸引。最近笔者设计和制作了一款“混合型”的小功放，前级采用电子管做放大，后级采用美国国家半导体公司的功放集成电路LM3886。该功放精致小巧，音质有着细腻、圆润的特点。

一 外形设计

该功放是放在显示器旁，配合电脑声卡使用的，所以外形最好小巧而精致。笔者选用了银色铝合金型材做机箱，黑色“亚克力”做前、后面板，整机分为上、下两个独立箱体，上箱体放置电子管等元器件，下箱体放置电源变压器等元器件。上、下箱体之间留有2cm宽的间隙，通过穿孔走线进行电路连接，这样设计的优点有两个：一是电源变压器和电路放大部分在两个屏蔽箱内，可减少变压器对电路放大部分的干扰，使整机具有较高的信噪比。二是利用上箱体的铝合金外壳作功率放大部分的散热器，再通过上、下箱体之间的间隙进行空气对流，可及时把散热器发出的热量带走。面板的设计体现了简洁就是美的设计意念，左下方是拨钮式电源开关，右上方是音量旋钮，如图1所示。背板分别放置了音频输入、输出插座和电源输入插座，如图2所示。

二 电路设计

整机的电路原理如图3所示。音频信号经过音量电位器、耦合电容C1、电阻R1和R2进入由电子管6N11接成的SRPP放大电路，放大后的音频信号再经C2、R3进入LM3886进行功率放大。与目前DIY制作圈中的“前胆后石”电路相比，其最显著的不同在于加入了由电阻R4和R1组成的大环路负反馈。电子管放大部分和功放集成电路在电路中是两个相对独立的部分。信号经过两级放大后，被放大了200多倍。很多制作过“前胆后石”功放的朋友都有这样的体会，只需把音量电位器旋动一点点，声音就能变得很大。本电路加入了适量的大环路负反馈后，使整机的增益适中，同时使放大器的非线性失真有所改善，使音色更加细腻、圆润。

在该放大电路中还设置了由电压比较器LM311及继电器等元器件组成的开机延时接通电路，见图4。在没加入开机延时电路之前，电源接通后电子管的灯丝开始加热，随着管内温度的升高，电源电压通过电阻R5对电容器C2充电，这个过程中会形成一个突变的冲击信号输入到功放部分，这样很

图1

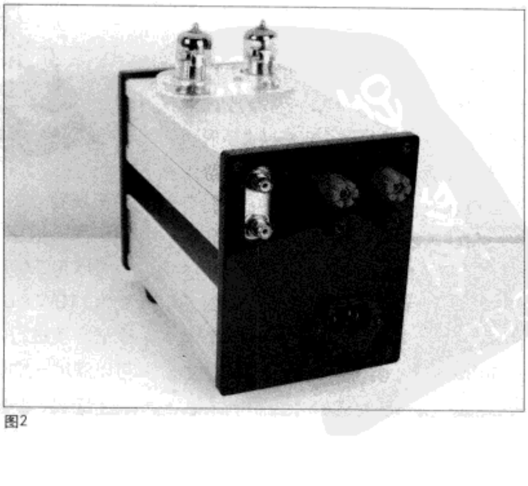


图2

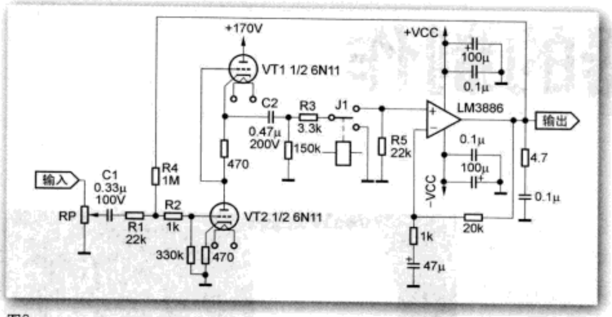


图3

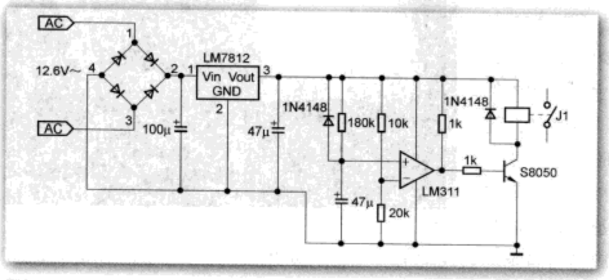


图4

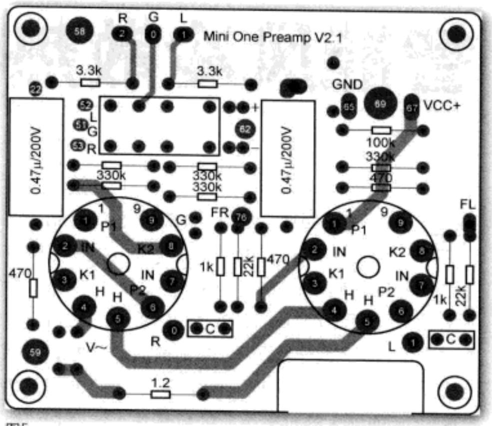


图5

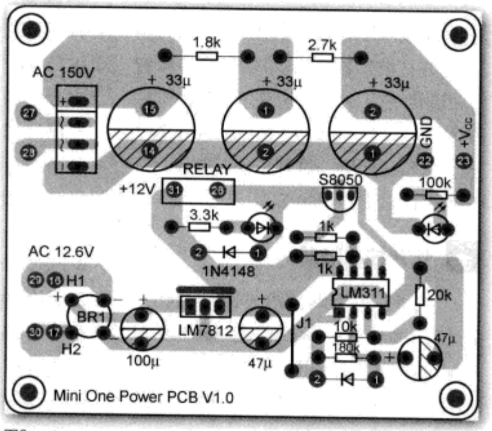


图6

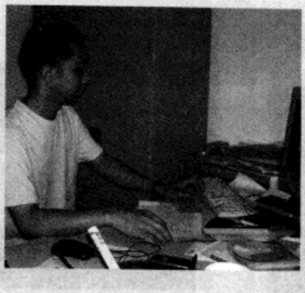
容易损坏接在功放上的扬声器。这个充电的过程要经历8~10秒。加入了这个能延时15秒的延时电路后，可以让电子管充分加热，等电路稳定后再接通前后级之间的音频信号。

三 材料选取与制作要点

受机箱大小的限制，笔者选用了一个次级输出电压分别是150V和12.6V、容量是30W的变压器给高压、灯丝部分及继电器控制部分供电。另外选用一只次级输出电压是双20V、100W的变压器给功放部分供电。高压电源采用全波整流，C—R—C---R---C的滤波方式，滤波电容选用 33μF/350V的日本化工电容，电阻选用3W 的金属膜电阻。电路中的其余电阻选用的是1W 的金属膜电阻。SRPP电路放大部分的工作电压是+170V，电子管6N11的屏流实测为3.8mA。放大部分和电源部分的PCB如图5、图6所示。放大部分的PCB是双面板，因篇幅所限，在此只给出其中的一面PCB图。图6中的3.3kΩ 电阻和一个发光二极管是根据实际制作加上的，在图4中没有画出。

四 试听

将此功放连接到电脑声卡的音频输出接口，推动自制的4英寸二分频小音箱，播放《十亿掌声2》、《一水隔天涯》、《蔡琴民歌》等人声试音选段，感觉声音细腻，感情丰富，乐器定位准确。半夜把耳朵贴近音箱也听不到一点底噪声。在试音中曾用6DJ8和ECC88等进口管进行轮流试听，感觉它们的音色各具特点，这也是换“胆”给DIY带来的乐趣。



◇作者简介

本人从小酷好电子DIY，每次DIY的成果都给自己很大的激励，当然这其中还有很多失败的经历。后来进入了大学，通过学习我有了一定的理论基础，在音响，单片机，自动化控制等方面的DIY成功率也随之大增。1998年步入工作岗位后又自学了电子管的基础知识，现任中山市力信音响工作室的技术员，主要从事音响产品的研发和测试等工作。在工作之余我仍然继续DIY爱好，我会不断地把自己的作品和感受与大家分享。

智能风冷散热器的制作

◎林芝松

音响爱好者在组装功放时，散热系统的处理是很重要的一个环节，双声道功放是如此，多声道AV功放、尤其是音质深受音响爱好者青睐的甲类功放更是如此，因此处理好功放的散热十分重要。然而面对重达5~6kg，甚至10kg以上的硕大的价格不菲的散热片和大型沉重的机箱时，往往很无奈。笔者在组装AV功放时，利用2块散热片组成长方柱散热器，配以12V风扇进行智能控制散热，进一步提高了功放的可靠性和热稳定性，缩小了体积，减轻了重量，且价格低廉，效果却令人满意，现将制作的过程介绍如下。

一 长方柱散热器

笔者从网上购得两块长200mm、高116mm、厚46mm、基板厚度为6mm的散热片，如图1所示。购买时要选择叶翅为长条排列的。用厚2mm以上，最好是5mm厚的铝板制作散热片的连接板。图2所示的是加工完成的连接板，板上钻有6个直径为3.2mm的沉孔，板的四角钻4个直径为3.2mm的圆孔。接着将两块散热片拼排整齐，用连接板放在上面描出6个沉孔的位置，再钻出6个ϕ2.5mm的通孔，用丝锥攻出M3螺孔，为防止丝锥折断，加工时可加点润滑机油。用M3×8mm的沉头螺钉将两块散热片组装成长方柱散热器，如图3（a）、（b）所示。用厚2mm的铝板裁剪成高116mm，宽92mm的长方形铝板一块，按照图4所示的方法加工出中心的圆洞，圆洞直径应与散热风扇相适应（笔者采用的风扇是80mm×80mm的电脑开关电源的散热风扇，圆洞直径为ϕ77mm）。接着加工4个ϕ3.2mm风扇安装孔和4角的4个ϕ3.2mm风扇组件的固定孔。用厚2mm的橡胶板剪一片尺寸与风扇连接板一样的避震、消噪垫片。加工完成的连接板和橡胶垫片如图5所示。然后加工位于方柱散热器端头的用于固定风扇组件的4个M3螺孔（方法同上述，先钻出ϕ2.5mm的孔，再用丝锥攻出M3的螺孔）。最后用M3×12mm的半圆头螺钉将风扇、橡胶垫片和连接板组装成风扇组件，图6所示是已安装了使用“洞洞板”装配的智能控制电路板的风扇组件。

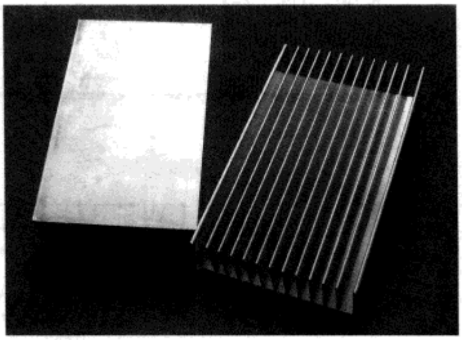


图1

二 风扇智能控制电路

风扇智能控制电路如图7（a）所示。运算放大器ICa（1/2LM358）被接成差动放大器，反相端2脚所接的温度探头VD1是一只1N4148硅二极管，它的PN结的温度系数约为－2mV/℃，增益控制由RP2调节，增益$A=(R3+Rb)/Ra$。同相端3脚由RP1设置一个正电压$U1$，当3脚电压小于2脚时，1脚输出为0V，当3脚电压大于2脚时，1脚输出电压可按$U_0=(U1-U2)\times A$计算。假设，当温度探头VD1处于50℃时，要使1脚输出的电压U_0为

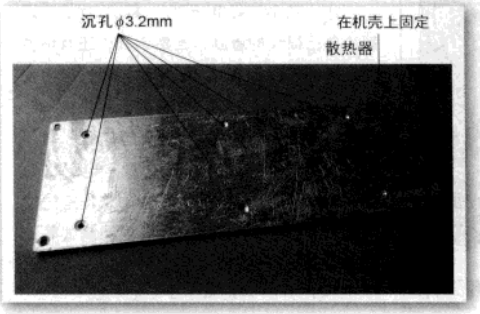


图2

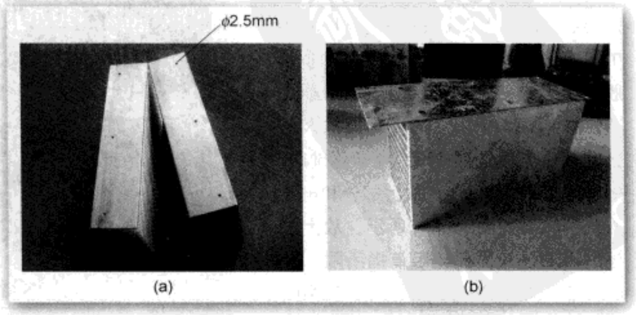


图3

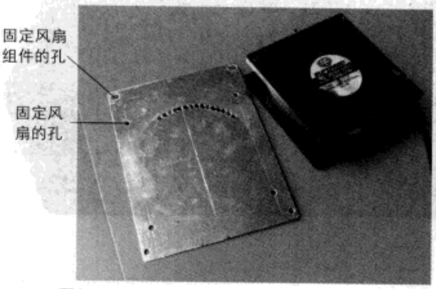


图4

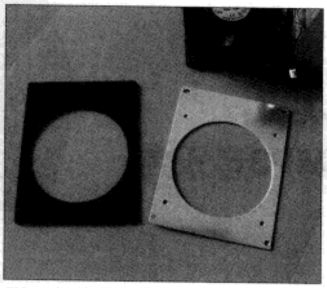


图5

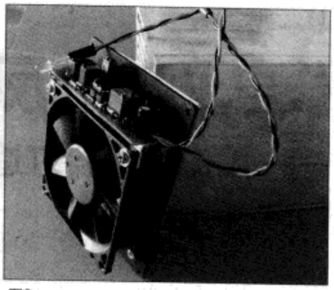


图6

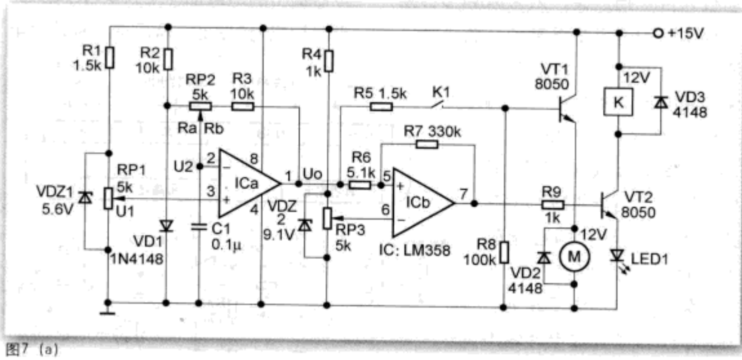


图7（a）

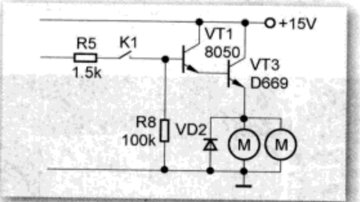


图7（b）

8V，应如何调节RP1、RP2呢？首先，测得VD1在10℃时，两端电压为0.666V（笔者所用的VD1的数据），调节RP1使3脚电压为0.666V,那么当温度升高至50℃时，VD1两端的电压将降为

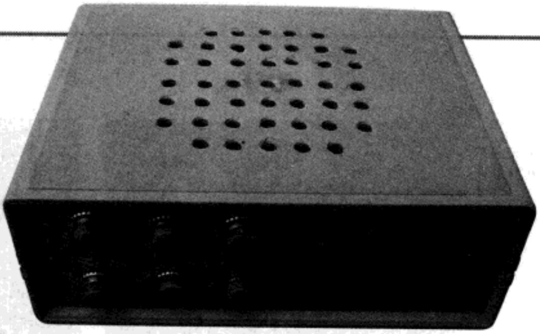
0.586V｛〔0.666－(50－10)×0.002〕=0.586｝。调节RP2使1脚输出为8V，此时$A=100$。

ICa的1脚的输出分为两路，一路经R5、继电器开关K1输送至电压跟随器VT1，控制风扇M的工作状态——通、断和转速快慢。另一路输送至由ICb、VT2、继电器K等组成的继电器控制电路。ICb等组成了滞回比较器，反相端6脚由调节RP3设置一个基准电压，如8.5V。同相端5脚的输入电压（也即是ICa的1脚输出电压）与6脚的基准电压相比较，当小于6脚时，7脚输出为0V，继电器不吸合，当5脚输入的电压大于6脚时，继电器吸合，其触点K1接通，风扇M得电工作。LED1指示风扇的工作状况，同时在其上的电压降为2～3V，确保12V继电器在安全的电压下工作。笔者选择的微型继电器，工作电流为十几毫安，可保证LED正常发光与长久使用。如果所选的继电器的工作电流较大，可考虑并联LED或电阻的方法解决。ICb的5、7脚之间跨接的电阻R7，起到正反馈作用，使电路具有滞回特性，有良好的开关特性和增强抗干扰能力。

采用风扇散热主要存在一个噪声问题，笔者在设计风扇控制电路时，已考虑了此问题：当散热器表面温度低于50℃时，此时功放可能处于音量较小状态，风扇不工作。当散热器表面温度升至刚刚超过50℃时，风扇得电工作，此时风扇低压运行（7.5～8V），噪声较低，随着功放音量增大，散热器表面温度不断升高，ICa的1脚输出的电压也不断升高，风扇两端的电压也随着升高，转速变快，此时噪声（主要是风声）可能增大一些，但已淹没在音乐声中了。笔者的设置为：50℃时风扇两端电压为7.5～8V，70℃时为11.5～12V，当功放处于中等音量时，散热器温升和风扇转速会处于一个平衡状态。调试时，应考虑到电压跟随器VT1自身的电压降，当探头温度为50℃时,调节RP2使ICa的1脚输出的电压比8V略高0.5～1V即可。

为了防止温度继续升高对功放构成威胁，在散热器表面还加装了80℃，5A的热继电器。当温升超过80℃时，切断整机电源，确保功放安全。

本散热器也可应用于甲类功放，如果认为散热效果还达不到要求，可在散热器出风端口加上一台抽风的风扇，与前面一台吹风的风扇并联运行，形成一吹一抽的强劲散热效果。加装的方法可参考上文所述。控制电路板上加上一个中功率三极管，如2SD669，如图7（b）所示。笔者所用的80mm×80mm风扇是拆自废弃的电脑开关电源，拆下的风扇绝大部分是好的，只要经过擦洗，再加润滑脂，即如同新物，旧物可再利用。RP1～RP3最好采用精密多圈微调电位器，R3采用5环金属膜电阻。控制电路除了温度



◎姚宗栋

“乌鸦变凤凰”

——用废旧材料打造MP3音乐盒

看着有故障的MP3和旧手机在手头闲置着真是很不甘心，经过反复琢磨，一款整旧出新的MP3音乐盒研制成功了。它的机内自带的大口径扬声器，播放的音质要远远好于市面上销售的普通袖珍MP3、MP4，而且也可以像普通MP3一样连接耳机听歌曲，新添置元件的成本在10元左右。现把其制作过程介绍给大家。

一 电路原理

电路非常简单，如图1所示。主体电路为原MP3机芯电路，为获得满意的音量、音质，增加一级由TDA2822构成的音频功放电路来推动机内自带扬声器，因为原MP3音频功放电路的输出功率推动耳机已经足够，为了避免产生不必要的失真和噪声，本机的耳机输出没有取自TDA2822输出端，而是直接取自原MP3耳机输出端。由于原MP3的音频功率输出电容的容量较小，低频响应很差，所以对音频输出电路作了改进。将原MP3音频功放电路输出端的2个220μF的耦合电容去掉，输出信号直接取自耦合电容的正极接线端，将耳机输出和扬声器输出的地端都连接到电容C4、C5串联形成的A点上，从而使音频输出电

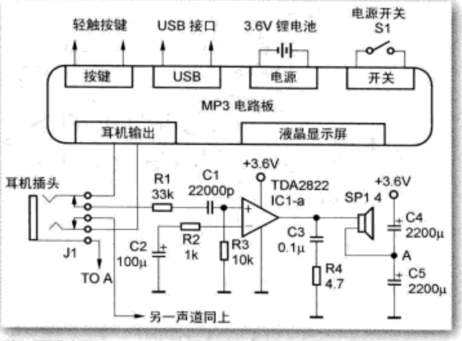


图1 原理电路

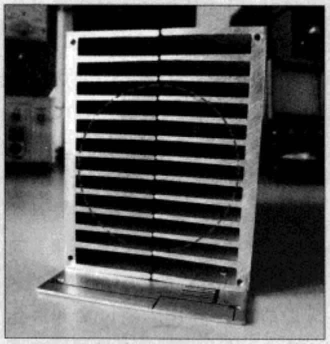


图8

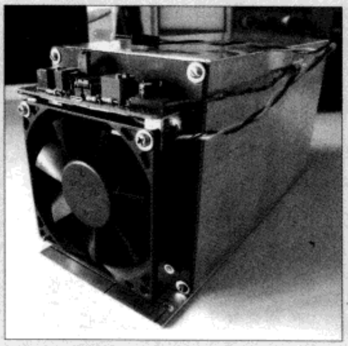


图9

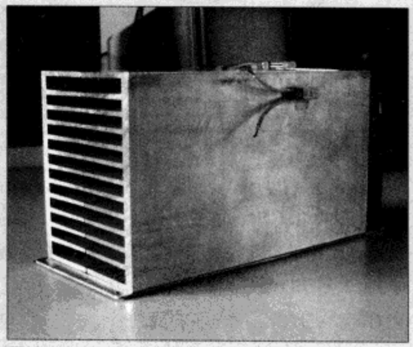


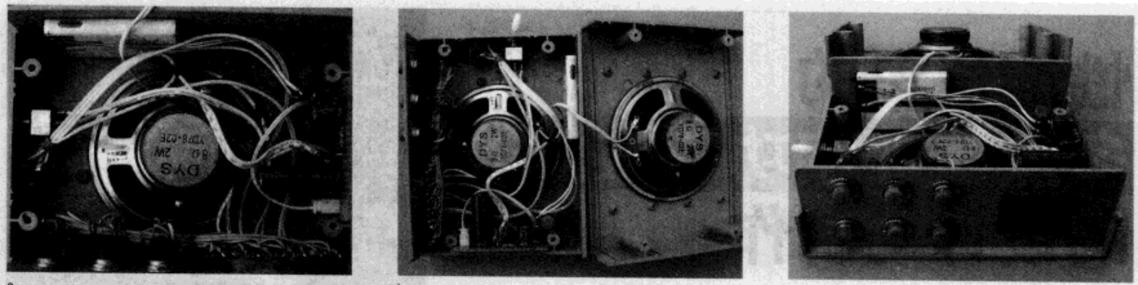
图10

探头紧贴“热源”安装外，其他元器件要尽量避免受热源的直接影响。

三 注意事项

为了进一步减小风扇引起的噪声，应将安装风扇的散热器端头的叶翅（如图8所示的蓝色圆圈内部分）用锉刀或手持砂轮机加工成圆弧状，并打磨光滑，可起到减小风阻力和风声的作用。安装散热器时，可在散热器两端与机箱底板之间垫以一定厚度的橡胶片，散热器出风端口与机箱后面板之间也加上橡胶垫圈。温度探头和热继电器要涂上导热硅脂，用铜片压紧在散热器的适当位置。

在长方柱散热器两侧加工安装功放三极管或功放集成电路的螺孔时要注意，一定要加工成沉孔状的，并处理好毛刺，打磨光洁。如果功放三极管或功放集成电路的散热板不能接地，要垫好绝缘片，有的需涂上导热硅脂，螺钉要套上绝缘套，安装后要检查绝缘程度，做到万无一失。图9、图10所示是组装完工的散热器。



a　b　c

图2 机内布局

路由原来的“OTL”形式转换为失真更低、频响更好的准“OCL”形式，这样用耳机听音乐时的低音效果比原机要好得多！由于机壳体积小，机内自带的扬声器不可能播放出很低的低频信号，为了避免产生不必要的失真，将TDA2822输入端的耦合电容C1的容量取得较小，这样放音时虽然低音效果差一些，但以如此小的体积得到的音质，让人感到非常满意！

二 元件选取

MP3主电路板是取自于一个闲置已久的MP3，该机的外壳和按键已经摔得“面目皆非”，需要更换，但数据存储以及播放等各项基本功能仍然正常。外壳的选择只要容易携带，钻孔加工容易、坚固美观即可。本人选用电子市场销售的5cm×10.5cm×13cm的小型塑料机壳，虽然大一些，但一般的衣服口袋还是可以装得下的。轻触按键从个人的实际情况出发选用了普通的小体积的开关按键。扬声器只要是机壳空间允许，口径尽量选取大一些的，本制作中选取的口径为7.5cm，阻抗最好选取4Ω的，这样可以使放音音量相对的大一些！电池选用手机上用的容量在800mAh左右的废旧锂电池，这种电池在手机上用显得容量不够大，但是用在扬声器上连续播放两三小时还是可以的。当然，有条件也可以选择容量再大一些的或全新的电池。功放电路除了选用本文推荐的TDA2822外，其他的立体声、低压功放电路都可以选用，对其中的元件也没有特殊的要求。

三 制作方法

1. 首先将需要安装的各部分元件在机壳内进行布局，以确定各元件大体的安装位置。注意两个扬声器要安装在机壳的两侧，这样可以营造出不错的立体声效果。如果要求不高的话，也可以只安装一个扬声器。按键的布局要便于操作。总体布局要注意确保美观并使各部分间的连线尽量短一些，不要迂回交叉。然后用笔画好按键、屏幕、耳机插座、开关、扬声器等需要开孔的位置，再用电钻等工具将需要的孔开好，开孔时尽量保证开孔的美观。

2. 将新增加的按键开关安装到前面板。将扬声器、耳机插座和电池用胶或螺丝固定到机壳内早确定好的位置。将MP3机芯电路板上没有用处的按键、插座、开关等拆除，然后将机芯电路板上的液晶显示屏与前面板的开孔对准后再用胶加以固定。

3. 选取适当大小的万能电路板，在其上焊接好TDA2822的功放电路部分，然后在机内选取适当的位置并把它固定好。

4. 根据电路原理图，将图中需要连接的电路连接起来，为了降低制作难度，对于新增加的部分零件可以采取在原电路板上直接搭焊的方式焊接，制作完成后的电路如图2所示。图中只有一个扬声器，另一个扬声器在上盖板上与本图中相对应的位置。

四 使用方法

用耳机听音时，将耳机插头插入本机耳机插座，然后进行相应的操作；用自带扬声器放音时，只要拔出耳机插头即可。音乐数据的存储和读出同普通MP3的使用方法相同，利用USB延长线将本机和电脑的USB接口连接，再进行数据的读写操作。

五 注意事项

1. 拆卸MP3主电路板上的耳机插头、按键等元件时，要注意避免热风枪的热量烧坏电路板上的液晶屏，也要防止电烙铁的漏电击穿电路芯片。

2. 电路中R1的取值可以根据所选用MP3的输出信号电平的大小而适当调整。确定方法是在将播放器的音量调到最大时，扬声器中传出的声音没有明显的失真为最佳。

3. 焊接机内连线时不要将左、右声道的顺序弄错。

4. 因为扬声器位于机壳的两侧，所以用机内扬声器听音时，可以将音乐盒竖立放置，这样就可以使两个扬声器相对处于人的左右两侧。

本播放器的制作就是利用“报废”元件，通过充分挖掘它们各自的潜力，取长补短，从而最终实现“乌鸦变凤凰”的愿望。

性能优良的多媒体数字功率放大器的设计与制作

◎魏坤

多媒体功放一般都是装在有源音箱内部的，所以散热条件一般比较差。如果用A类放大器或AB类放大器，对散热条件会提出更高的要求。这两类放大器的效率相对较低，一部分电能变成热量白白浪费掉，这与现在提倡建设节约型社会不太相符，但是A类放大器与AB类放大器的优点是失真小音质好，所以到目前为止还是功率放大器的主流，是否有一种效率高而且音质又好的放大器？答案是肯定的。本人用TA2024的T类数字放大器和USB音频解码器等芯片组成的一款性能优良的多媒体数字功率放大器，该放大器具有一路USB数字音频输入和两路模拟输入、63级音量控制。输出功率为每声道15W。推动一对SONY组合音响上的音箱，低音浑厚有力，高音纤细优美，音响效果非常理想。

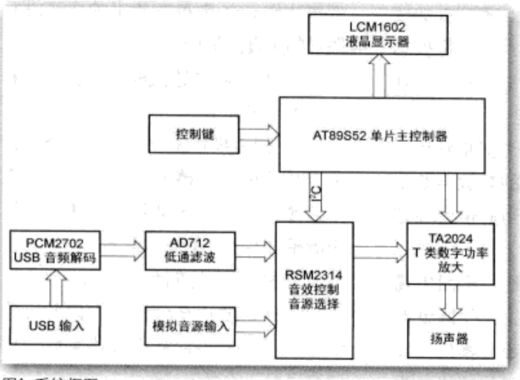


图1 系统框图

一 方案设计及功能电路介绍

该放大器的系统框图如图1所示。输入信号为从USB端口输入的数字音频信号和两路模拟信号，它们进入由RSM2314组成的音频管理电路进行音源选择和音量控制等操作，RSM2314由单片机通过I^2C总线控制，有音量、音调、平衡控制及音源选择功能，因为本放大器与电脑连接，音调控制等一般都是由播放器的软件完成，所以在此只用了RSM2314的音源选择和音量控制功能。从RSM2314输出的信号送入由TA2024组成的T类数字放大器中进行功率放大推动音箱。下面简述各部分功能。

1. USB解码电路

USB解码电路是以PCM2702 USB音频DAC为核心组成的，电路如图2所示。PCM2702是一片高信噪比（典型值为105dB）、低谐波失真（THD+N）为0.002%、大动态范围（100dB）高分离度（103dB）的USB数模转换芯片。它有两个数模转换输出通道和一个一体化的USB接口控制器，该接口符合USB1.0标准，全速传输率为12Mbit/s。也许有人会问现在不都是USB2.0接口吗？USB1.0速度是不是太慢了？其实不然，12Mbps的传输速率对传输音频数据来说绰绰有余。PCM2702可接收采样率为32kHz、44kHz和48kHz的16位立体声或单声道数字音频信号，《无线电》杂志对该芯片有很多介绍，故在此不作过多阐述。由高速、低失真运算放大器AD712和外围元件组成二阶低通滤波器滤除高频成分后得到立体声音频信号，再将立体声音频信号送入由RSM2314组成的音源选择及音量控制电路。

2. 音源选择及音量控制电路

音源选择及音量控制电路是以RSM 2314为核心组成的，电路如图3所示。

RSM2314是一个采用CMOS工艺制造的二声道数字音频控制处理器，信噪比为95dB，谐波失真（THD+N）为0.012%，动态范围98dB，通道分离度85dB，具有音量、音调、平衡度控制，可选择的输入增益。使得RSM2314用很少的外围元件就可以实现高性能和可靠性，RSM2314的内部功能框图如图4所示，它还广泛用于各种高品质的汽车收放音机和高保真的音响系统中。所有的控制都通过与外部微处理器相连的串行I^2C总线来控制。TA2024引脚排列如图5所示，引脚

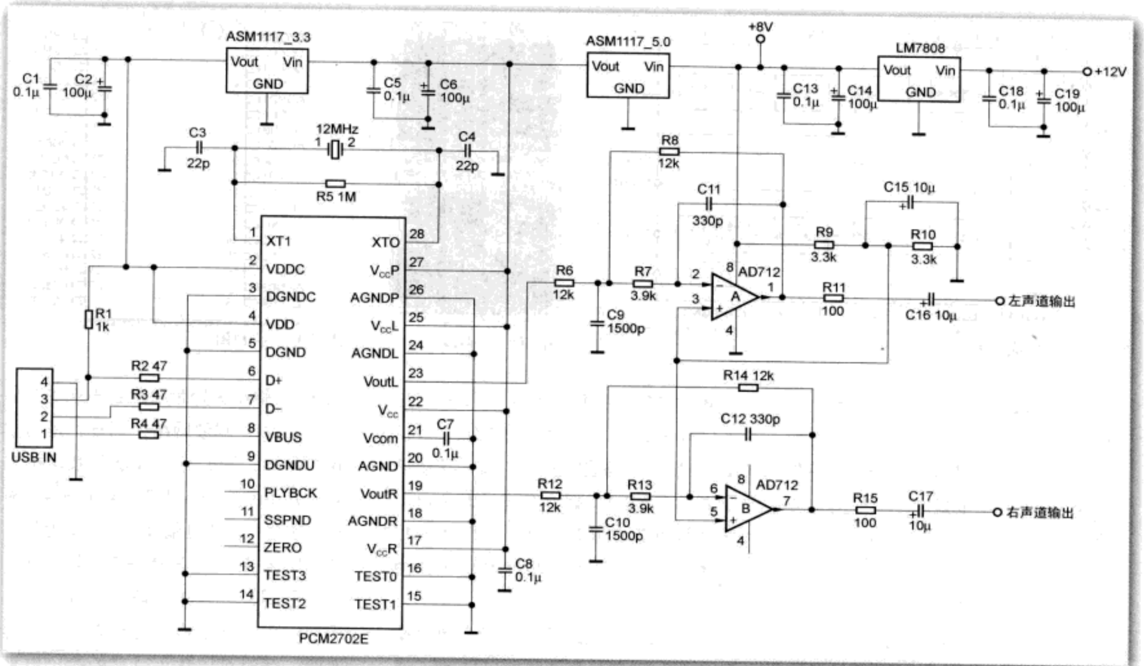


图2 USB解码电路

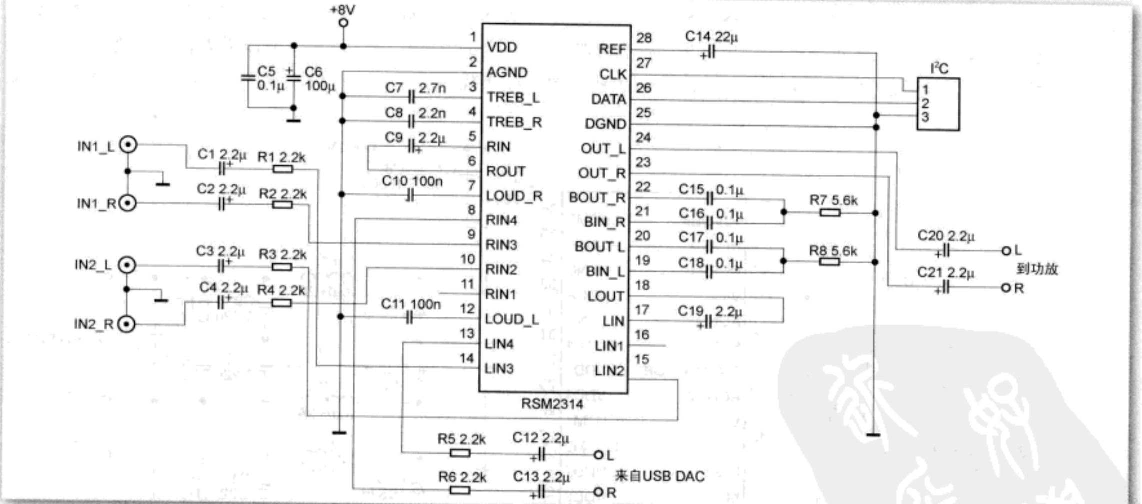


图3 音源选择及音量控制电路

功能描述如图6所示。

3. T类功率放大电路

T类功率放大器是音速感（Tripath）公司生产的采用“数字功率处理技术”具备D类功放效率、同时又具有AB类功放音质的新功放类型（有关介绍请参见本刊2008年11期的内容）。所谓T类，就是取Tripath首字母。目前最多被发烧友热捧的有TA2024和TA2022两种型号，TA2024输出功率较小15W×2（@ 12V，4Ω），TA2022输出功率较大70W×2（@±30V，4Ω），普遍的评价是TA2024的音质要好于TA2022，再者

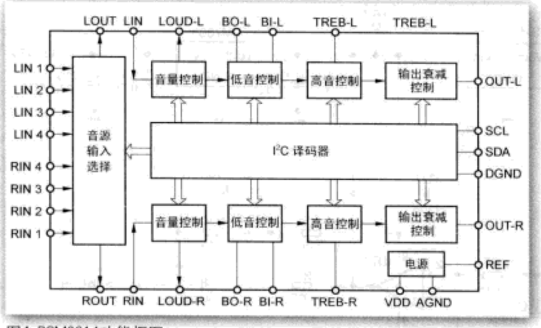


图4 RSM2314功能框图

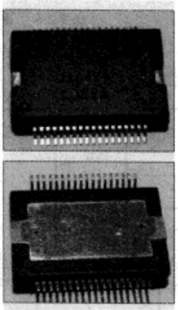


图5 TA2024封装

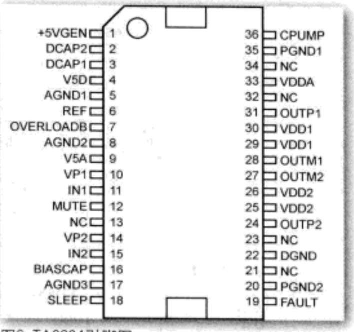


图6 TA2024引脚图

本功率放大器用于电脑有源音箱，故15W×2的功率也足够了，TA2024的供电电压为单12V，所以电源电路很好解决，用一只TO-3金封的LM317为其稳压供电便可满足要求。TA2024芯片封装如图5所示，引脚功能如图6所示。

功率放大电路见图7，在电路中，第1脚（+5VGEN）是芯片产生的5V基准电源，经电阻分压后接输入脚，调节分压电阻，可以调节输出直流电压水平（注：最佳输出直流U_o=0V，过大的直流电压可能损坏扬声器和导致开关机噪音）。功放输入采用比较典型的电容耦合形式，R3和R4是反馈电阻，决定了功放增益A_u。第12脚是MUTE（静音）控制引脚，这里接到单片机的P1.2脚，在开机时会自动将功放置为“静音”状态，防止开机噪音。这个引脚也可以单独引出作为静音控制。

注意到功放的输出实际上是平衡形式的，没有公共地。输出接有LC滤波网络，这是因为T类功放与D类放大器一样都是工作在开关状态，所以输出信号中带有高频信号。10μH电感和0.22μF电容大概设置的频率截止点为73kHz。输出另外带有阻容串连的茹贝尔（Zobel）滤波网络，同样也是为了滤去高频，同时可以降低负载阻抗变化。另外还有一个电容跨接在扬声器两端，这个可以使负载接近“纯电阻”。在输出端接有4个肖特基二极管，靠近输出引脚，可以防止输出信号电平低于地电平，防止损坏芯片内的输出功率管。同时可以防止过高的输出电平出现。TA2024构成的电路具有80%以上的效率，在10W情况下，效率达到了88%，所以不需要大的散热器来支持（除非电路设计不合理，导致异常发

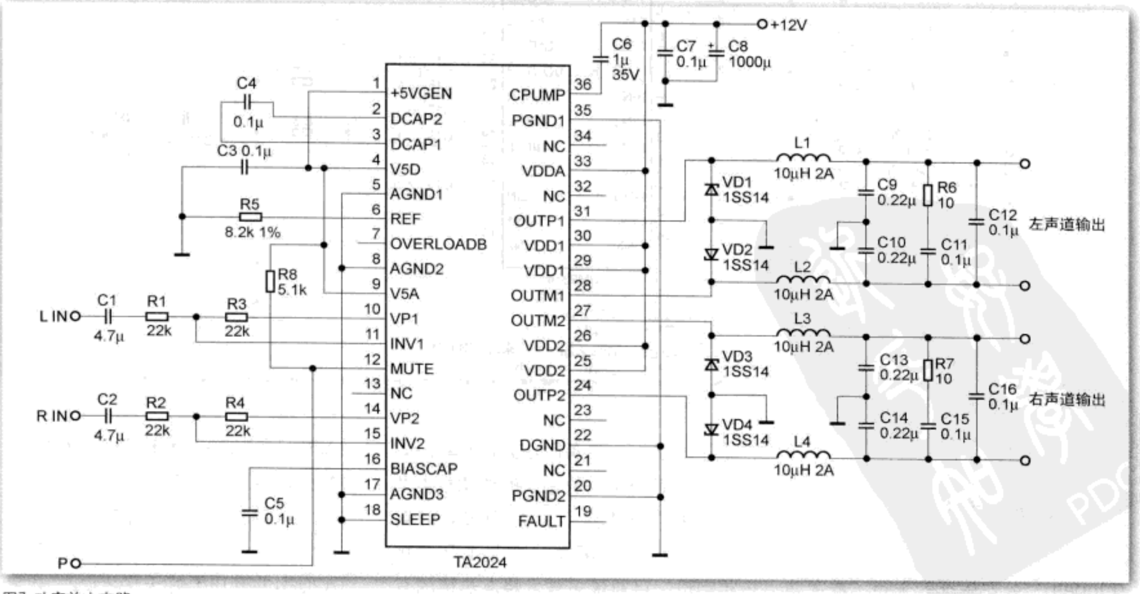


图7 功率放大电路

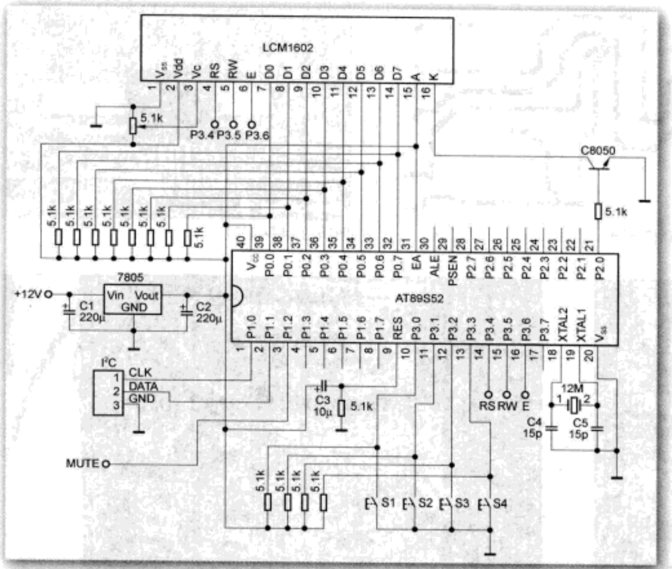


图8 单片机控制电路

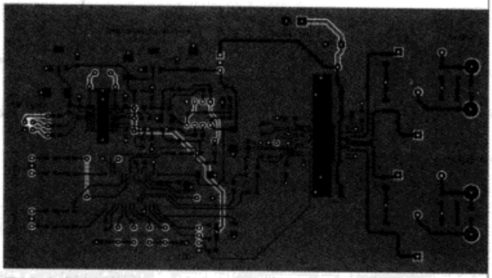


图12 主电路PCB

热），一般情况下使用电路板的铜箔来散热就足够了。所以TA2024芯片设计成贴片封装（而不是TO-220类型），下方有金属导热块。我在资料上看到有一些设计者在TA2024上额外增加散热器，我认为这对散热没有任何帮助。从图5可以看出，TA2024的芯片是靠贴在下表面的金属块导热的，热量传导到上方很少，也很慢，若在芯片上方增加散热器将导致空气不流通，反而会影响散热效果。

4. 单片机控制显示电路

单片机控制电路见图8，单片机采用AT89S52，电路为最小化应用电路，这个电路我作为一个控制模块应用于很多电路中，只是在不同的控制中写入不同的程序。P0口和P3.4，P3.5，P3.6作为LCM1602液晶显示器驱动用。P3.0，P3.1，P3.2，P3.3四个输入输出口分别接S1，S2，S3，S4四个轻触按键，S1，S2为音量增减控制键，S3，S4为音源选择键。P1.0，P1.1，作为与RSM2314通信的I²C总线端口，用于传送控制数据。P1.2接在功放芯片TA2024的第12脚上进行开机时的静音控制，以消除开机噪音，等各电路都工作正常，再将该脚电平拉低，退出静音状态。P2.0用于控制液晶显示器背光的开关，开启背光需多耗电约50mA。单片机采用12MHz晶体振荡器。

5. 电源电路

电源电路采用桥式整流滤波电路，稳压电路使用金属封装的LM317K稳压集成电路，输出电流为3A，滤波用电解电容采用两只并联而未用单个大容量电容。大家都知道，电解电容为了得到较大的容量，所以电极都是卷在一起的，这样就有较大的等效电感，等效电感使电容的高频阻抗升高，两个电容并联与单个大电容相比等效电感较低，所以这样可以降低电源的高频内阻，提高电源的性能。在两个大电容上并联0.1μF小电容，目的是为了进一步降低电源内阻。电源电路如图9所示。

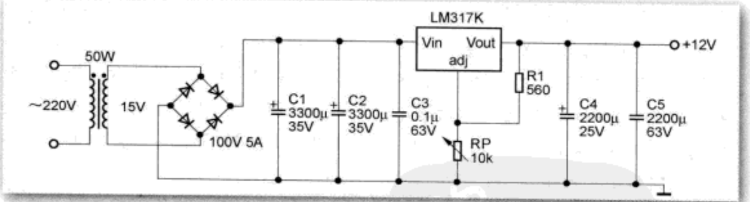


图9 电源电路

图10 制作好的电感

图11 所使用的元器件

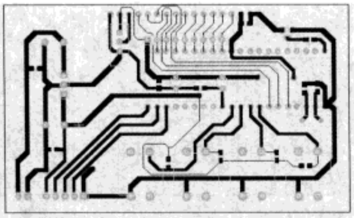


图13 单片机控制板PCB

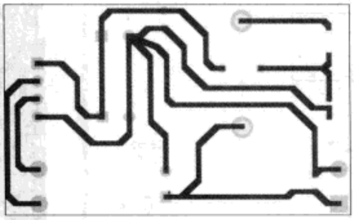


图14 电源电路PCB

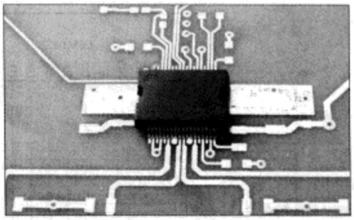


图15 安装TA2024

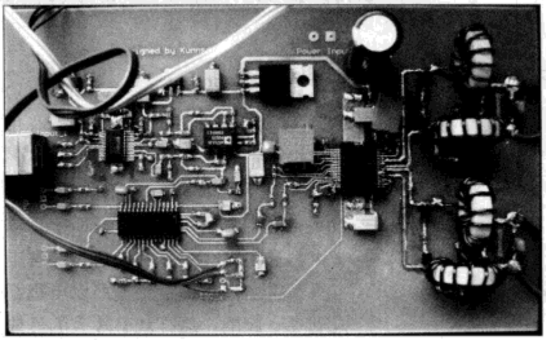


图16 安装好的主电路板

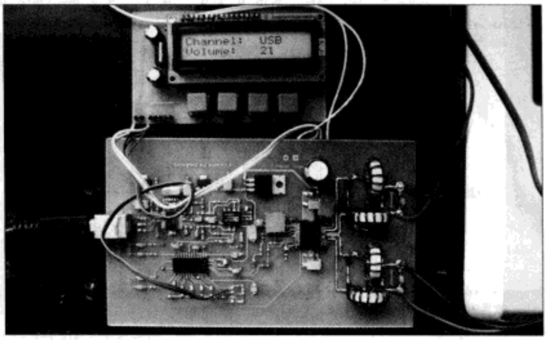


图17 控制板与主电路板

二 元件选择及电路制作

1. 元器件的选择

电阻和小容量瓷片电容选用0805贴片封装，小容量电解电容用贴片钽电容，滤波电解电容用红宝石电容，输出滤波用的10μH电感，用直径1mm的漆包线在外径23mm、内径12mm的高频铁氧体磁环上绕13圈，用数字电桥实测，电感量为10.5μH，如图10所示。PCM2702，RSM2314，TA2024都是贴片封装。LM317使用金属TO-3封装，该封装的LM317可输出3A的平均电流，使用配套散热器，5V稳压和3.3V稳压集成电路选用ASM1117系列贴片封装。放大器上使用的4个肖特基二极管用1SS14，电源变压器使用50W的E型电源变压器。可调电阻用3296多圈型。敷铜板选用双面高频玻璃纤维板，单片机用89S52或89S51，只是在写程序时注意一下。液晶显示器用LCM1602型，其他元件无特殊要求，按图取值即可。图11所示为所使用的元器件。

2. 印制电路板的制作

在画电路图时，为了使各功能电路的结构清晰，所以将各功能电路的电路图分开画，在实际设计PCB时是将USB解码电路、音源选择及音量控制电路、T类数字放大电路作为主电路做在一块PCB上的，如图12所示。单片机控制板PCB如图13所示，电源电路PCB如图14所示。

做过音频电路的人都知道，电路各部分要分别接地然后汇总于一个点上，而这点一般在滤波电容的接地点上，这叫做单点接地，其目的是消除交流声提高信噪比。该电路板采用双面结构，背面主要做大面积铺地，这样做的好处是减小接地电阻，达到与单点接地同样的效果，从而大大化简了布线的难度。大面积铺地还可以起到屏蔽的作用，提高电路的抗干扰能力，也节约了腐蚀电路板的时间。

因为电路中大量采用贴片元件，尤其是PCM2702与TA2024的引脚间距只有0.65mm，所以焊接时更应注意技巧。焊接贴片电阻电容时，先将电路板处理干净，给一个焊盘镀上锡，将贴片元件先按住，然后将焊盘镀锡，一边焊住，再焊另一边。焊接贴片集成电路时先将贴片集成电路与焊盘对准，然后焊住对角的两个引脚，如图15所示，再焊接其他引脚。由于管脚密集，所以焊接时极易造成短路，万一管脚被焊锡短路了，这时用浸上松香的铜编织网将多余的焊锡吸掉，然后小心的将各管脚修整圆滑即可。

图16所示的是安装好的主电路板，图17所示的是控制板与主电路板的照片，从液晶显示器上看到此时的输入信号为USB数字音频信号，音量为21。

以上就是该多媒体数字放大器制作的全过程，其相关的单片机的源程序请参看本刊网站。希望此文对打算制作该类放大器的爱好者有所帮助。

巅峰的高度

——德生S-2000准专业级收音机评测

◎黄平

在数码产品大行其道的今天，仍有很多人对传统无线电产品情有独钟。收音机作为传统无线电产品的典型代表，一直受到众多广播爱好者的喜爱。回顾我们这一代人，有许多是听着广播长大的。每每收音机传来依然熟悉的旋律，往事不禁历历在目……事实上，国内专业的收音机厂家，从未停止过产品革新的步伐。特别是随着数字锁相环（PLL）技术的普及运用，使得现代收音机完全摆脱了以往调谐靠感觉、频率靠回忆的操作模式。另一方面，在电磁干扰日益严重的环境下，过去只有顶级收音机才具备的一些设计和功能，正“飞入寻常百姓家”。目前市场上，德生（TECSUN）S-2000是正式上市的国产高端收音机（题图）。作为国内知名品牌、技术阵容强大的收音机专业生产制造商——德生这次推出的“小旗舰”能否满足广大爱好者的苛刻要求？笔者对该机进行了比较全面的评测。

一 总体介绍

从外观上看，S-2000是德生旗舰HAM-2000的迷你版，但在实际对比中，两部收音机的接收效果各有千秋。S-2000价格只是当年HAM-2000价格的1/3，所以说S-2000是性价比更高的小旗舰，它的推出，弥补了广大收音机爱好者当年与HAM-2000失之交臂的遗憾（HAM-2000已停产多年）。有意思的是，德生把S-2000称为无线电“接收机”而并非“收音机”，可见德生对S-2000的定位超越了一般收音机的概念，笔者认为还是叫“准专业级收音机”更有亲和力。

S-2000可接收调频立体声、长波、中波、短波、短波单边带和民用航空波段，其中短波单边带又分为上边带（USB）和下边带（LSB）独立接收。该机采用数字调谐技术，具备自动调谐、手动调谐、直接输入频率等六种调谐方式，并可提供1000个存台位置，按波段存台500个+跨波段存台500个。作为小台式机型，S-2000兼顾了高保真设计，如用耳机可收听调频立体声，机内采用4英寸全频扬声器，高、低音可分别调整，线路输入、输出可把整机当作有源音箱和调谐器使用。S-2000设有多种外接天线接口和中频输出接口，前者为爱好者进行BCL（超远程接收）提供端口支持，后者可玩外置同步检波、DSP和DRM，与当今数字无线电音频技术接轨。

二 外观工艺

S-2000的三围：36.5cm（长）×18.3cm（厚）×15.3cm（高）。面板设计借鉴了工程、舞台用机的风格，两侧各有一道把手，显得大气而不粗犷，安稳而不呆滞。机顶上的中波可旋转天线和整机外观融为一体，显得与众不同又不生硬突兀。全金属、钻石纹的大调谐轮和旋钮确实起到了画龙点睛的作用（图1）。当然机无完机，个人感觉S-2000的信号电平表在视觉上略嫌

图1

图2

“凹陷”，如果设计成和面板同一平面，整机外观会更协调一些。

从外壳的平整度和接缝的顺滑度来看，S-2000的模具相当精细，以往国产收音机外观容易出现的怪花纹问题、毛刺问题、色差问题被一扫而光。斜面设计的按键行程恰当，手感舒适（图2）。旋钮和天线阻尼均匀，流畅顺滑。那个大调谐轮惯性适中，中轴没有摇晃和擦圈现象。应该说，S-2000的外观工艺达到了国产收音机的一个新水平。看来，国货如果用心去做，照样也可以多一分精致。

三 技术亮点

产品光有漂亮的外表还远远不够，“秀外慧中”才能真正吸引大家的眼球。那么S-2000究竟有多少“含金量”呢？笔者把这些技术亮点分为4类介绍，共涵盖10点。

1. 调频高放选用5连调谐电路，在灵敏度和选择性之间取得最佳平衡点；具备调频中频带宽选择功能（图3），加强抗临频干扰效果。

2. 调幅接收电路应用了高中频二次变频技术，有效消除镜像干扰；同样具备中频带宽选择功能，减少临频干扰。

3. 选用场效应管平衡混频、设置30MHz低通滤波器、采用多级AGC控制，进一步降低调幅广播的接收底噪，消除电气干扰，提高接收效果。

4. 两段天线输入衰减控制和高频增益控制，对过强的广播信号“严防死守”，避免过载失真，消除强台干扰；背景噪声抑制功能（图4），降低调频和航空波段接收的底噪。

从以上内容可以看出，S-2000是一部技术含量比较高的收音机，许多功能设计是国产收音机所从未有过的，如调频带宽选择功能、背景噪声抑制功能等。要说S-2000集“国产收音机技术之大全”并不为过，但它并不具备机内同步检波能力，只能外接同步检波器。到底是成本限制，还是设计者认为同步检波效果不明显，或者是厂家留一手用来细分市场？这就不得而知了。

四 收听效果

实际上，主观判断收音机好坏的标准就是“收”和“听”。“收”即接收能力，“听”即音质水平。收是听的前提，听是收的反映。

在评价S-2000收听效果前，有必要啰嗦两点：第一是不同机器的对比问题。如果没有对比就奢谈效果，其结论就往往经不起推敲。但笔者在选择S-2000对手时，却找不到一款功能、体积、价格都类似的机器，最终考虑选择SONY ICF-SW7600GR和SANGEAN ATS 909便携式收音机作为主要参赛队员（图5）。选择这两部机器的原因是价格相似、拥有量较多、知名度较高。第二是对比接收地点的问题。因为S-2000是小台式收音机，并不方便移动，没有人会经常提着S-2000移动收听，本着面对实际的原则，笔者仅在电磁环境比较差的房内使用本机天线进行比较。

1. 调频

100.7MHz是我们当地信号最强的电台，用S-2000、ICF-SW7600GR和ATS 909收听，均存在轻微的过载现象，表现为电台偶尔“噎住”。把3台机器的拉杆天线缩短一些均能改善，但靠这种办法，则在接收弱台时又要拉出天线，显得十分不便，S-2000独有的两段天线输

图3

图4

图5

入衰减控制和高频增益控制功能此时就大有英雄用武之地了，这两个功能配合起来使用，可以取得更好的抗过载效果。

100.1MHz是海峡对面中国台湾地区ICRT电台，该电台以播放欧美音乐为主，在我们当地接收，信号强度中等。晴朗天气时，均能良好接收；阴雨天气时，S-2000和ATS 909的接收效果差不多，但前者的声音可懂度好于后者，ICF-SW7600GR虽可收到，然而噪声比较严重。

103.3MHz为中国台湾地区的“中广流行网”，信号微弱，103.0MHz则是本地强台。这两个频率接近、强弱反差巨大的电台，正好用来考验机器临频选择性。当把S-2000的调频带宽设置为“宽带”时，尚能收听103.3MHz弱台，只是不时有103.0MHz的强台蹿入；ATS909也勉强可收此弱台，临频干扰更严重些，ICF-SW7600GR就差强人意了，被强台完全覆盖。此时把S-2000的调频带宽设置为“窄带”，其选择性优势非常明显，让人为之一振：两个电台完全分开，做到井水不犯河水！在实际使用中发现，S-2000的“窄带”调频的分辨率可达到±0.2MHz，也就是说，在任何一个电台中心频率的±0.2MHz以外。如果有其他电台，都可以不受干扰地接收，而其他收音机的调频分辨率基本上都在±0.3MHz以上。带宽选择是S-2000调频接收中最让人侧目、效果最明显的功能。

综合比试结果：S-2000优于ATS 909，ATS 909略优于ICF-SW7600GR。

2. 长波

目前除欧洲少数国家外，大部分国家已淘汰长波电台，所以三机均没有收到。

3. 中波

首先，S-2000在方便性上占了上风——可旋转中波天线免去了改变机器方向以求得最佳接收的不便。就灵敏度来说，S-2000稍微强一点，ATS 909和ICF-SW7600GR则是半斤八两，难分高低。实际上，笔者曾把三部机器带到野外比试，S-2000的灵敏度还是很有优势的，为何在室内这种优势被缩小了呢？究其原因，是笔者的房间电磁屏蔽和电磁干扰严重。所以，建议收音机爱好者在室内收听中波时尤其要注意机器摆放的地方，靠窗一些、靠墙一些、离其他电器远一些，这些小措施对改善中波接收效果显得尤为重要。

S-2000和ATS 909都具备调幅带宽选择功能，可通过改变中频带宽来削减临频干扰，当S-2000和ATS 909的中频带宽都设置为“窄带”时，选择性相当，但S-2000的声音受影响程度不大，而ATS909的声音变得过于沉闷一些。ICF-SW7600GR没有带宽选择，却有同步检波。同步检波的原理是检出的是上下边带音频信号之和（和频）与音频信号之差（差频），在其后的处理过程中分别将这个和差信号相加减后就能得到我们需要的一侧边带音频信号，从而达到削除邻频干扰的目的。同步检波在削除临频干扰的同时，对音质的影响很小。但遗憾的是ICF-SW7600GR的调幅中频设计为窄带且不可更改，实际听感的劣势抵消了这种技术的优势。

综合比试结果：S-2000略优于ATS909，ATS909约等于ICF-SW7600GR。

4. 短波

S-2000的短波接收效果和ICF-SW7600GR差不多，S-2000收弱信号的可懂度好一点，但短波高端频率的接收灵敏度比ICF-SW7600GR差一些。ATS909因没有短波高放，灵敏度相对差了一截，这种差距一听就可以感觉出来。

由于三部机器都使用高中频二次变频技术，能有效抑制镜像干扰。三机的选择性也处于同一水平。

S-2000的AGC效果很好，短波电台声音忽大忽小的“呼吸”现象得到很好的抑制，声响的整体平滑度比较理想。另两部机器的AGC效果稍逊：ICF-SW7600GR的声响平滑度有所欠缺，ATS 909的AGC反应有呆滞感。

S-2000短波接收的最大优势是拥有安静的背景：接收强台时，很有十几年前收听中波强台的感觉：声音干净，底噪很低。这个应该归功于场效应管平衡混频的设计和30MHz低通滤波器的使用。

综合比试结果：S-2000略优于ICF-SW7600GR，ICF-SW7600GR优于ATS 909。

5. 短波单边带（SSB）

这回可是ATS 909大显身手的时候了，因其具备50Hz精细拍频步进，ATS 909很容易调整到理想的接收状态。此时，声音不变调，语音不含混。S-2000和ICF-SW7600GR的拍频调整使用普通电位器，调到最佳收听状态需要更慢更耐心的操作。尤其是ICF-SW7600GR，因为拍频电位器基本上无阻尼，更需要小心翼翼地调整。如果三部机器的拍频都调到最佳状态，此时S-2000底噪最低，ICF-SW7600GR的声音最真实。

综合比试结果：ATS 909略优于S-2000，S-2000略优于ICF-SW7600GR。

6. 民用航空波段

只有S-2000可以接收航空波段，在这里就无法进行横向比较了。总体感觉信号很清晰，配合背景噪声抑制功能，能自行设置信号的接收“门槛”。这是一个好玩的波段，只是不理解S-2000在这个波段接收上为何取消了自动调谐。

7. 音质

扬声器音质：S-2000的扬声器比另外两部要大，所以音质最好在情理之中：人声宏亮、清晰又不失亲切感，听音乐时有小音箱的味道，总体音质风格和松下的机器相似。ATS 909的高音清脆，人声也比较饱满，但总体音色还是显得单薄。ICF-SW7600GR音色发闷发木，大失SONY的一贯水准。

综合比试结果：S-2000优于ATS 909，ATS 909优于ICF-SW7600GR。

耳机输出音质：使用的测评器材是BEYERDYNAMIC(拜亚动力) DT231G（图6）。这是一款音染很小的低阻抗封闭式耳机，它和AUDIO-TECHNICA（铁三角）AD300、AKG（爱科技）K66并成为“Hi-Fi入门三剑客”。DT231G曾获得过英国权威杂志《WHAT HI-FI》五星级大奖，是公认的素质比较好的耳机。有趣的是这次的比赛结果和上一局截然相反：ICF-SW7600GR的耳机输出音质很好，富有弹性的低音、亲切的中音、如水晶般清澈透明的高音，使人不得不赞一个！ATS 909就比较中庸了，没有什么特点，当然也没有严重缺点，就觉得它比较一般。S-2000的中音有一定的感染力，低音中规中举，但高音有一些毛刺感，耳机输出的音质不如扬声器音质那么优秀。三机的调频立体声分离度也是ICF-SW7600GR第一，S-2000和ATS 909紧随其后且基本相同。

综合比试结果：ICF-SW7600GR优于S-2000,S-2000约等于ATS 909。

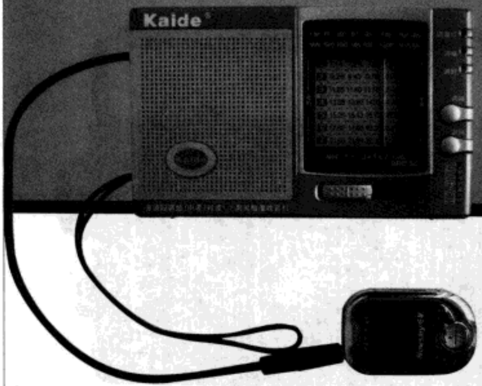
五 操控菜单

一部机器好不好用，就决定了常不常用。笔者不认同一些朋友“唯性能决定论”的观点。接收性能对于一部收音机来说的确至关重要，但它并非是评价收音机的唯一标准。我们在选择中高端收音机的时候，往往对它的外观、工艺、性能、操控、价格甚至售后都综合起来考虑。

S-2000的易用性非常好：第一，按键旋钮都按不同功能区相对集中，这种归类布局的风格是易用的前提。第二，数调机最基本的数字调谐功能和电台存储功能在S-2000上使用非常方便，如在自动调谐的过程中能对电台进行5秒钟的预览，既不会错过要存储的电台，又保证自动调谐的连续性。第三，ATS功能让自动搜索和自动存台一键搞定，适合“懒汉”使用。第四，具有短声、连续声、长声“哔”音操作提示。改变原状态、操作错误或确认新状态时都会用各自的声音提示。第五，菜单设计人性化，只要玩过数调机，不看说明书就能把S-2000玩个八九不离十,而且易学难忘，S-2000设计者的深厚功底和人本思想可见一斑。

结语：从总体上看，S-2000是继HAM-2000后，我国自行研发的另一部准专业级高端收音机，它在外观工艺、收听效果和操控菜单上全面胜过同价位的进口机器。早在几年前，国产收音机就开始在某些领域、某些方面击败同档次洋货，但全面超越的光荣和梦想，却在S-2000身上实现。就这个意义上说，S-2000创造了千元收音机的性能高度，无愧地站在千元收音机的性价比巅峰。

图6



巧用收音机作MP3扩音器

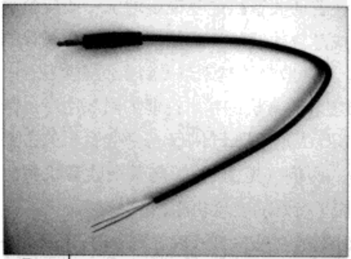
◎孙永峰

现在市面上所销售的MP3播放器一般体积非常小巧，不带外放功能，只能插耳机使用。据了解，长期使用耳机对听力伤害极大，为此，我自己动手给MP3制作一个扩音器。

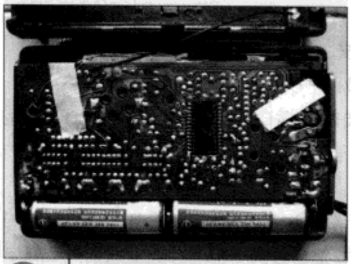
所需材料：一条φ3.5音频插头线，一台袖珍收音机。

所需工具：电烙铁，螺丝刀，钳子，刻刀，锉刀。

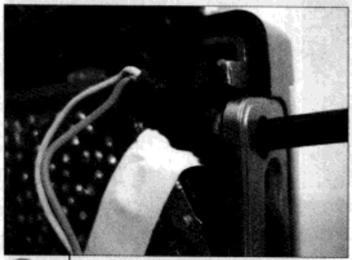
制作步骤



1 将φ3.5音频插头线在距离插头一端150mm左右剪断（长度也可自定），剥去音频线的外皮20mm左右，露出金属芯线。



2 把固定收音机外壳的所有螺丝拧下来，小心撬起塑料外壳的卡扣，打开收音机后盖，露出电路板背板，收音机的电池不要卸下来。



3 选好一个足够的走线空间，然后在收音机的外壳边缘用刻刀和锉刀配合加工出一个略大于音频线直径的孔，将音频线从该孔穿过后打一个结。

4 顺着电池的负极找到电路板上一个负极的焊点，将音频线的地线（图中白线）焊在这个焊点上。

5 将音频插头插到MP3上，打开MP3的开关，播放一个音乐文件，适当调整音量，再打开收音机的开关，适当调整音量，这时用音频线的另一根芯线（图中红线）去依次碰触收音机电路板上集成块的引脚焊点，直到MP3所播放的音乐从收音机扬声器发出声音。这时你所碰触的那个集成块的引脚就是音频信号输入端了。这种信号注入的方法免去了查找集成电路资料的繁琐，无论你的收音机是什么牌子，是什么型号的集成块都适用的。找到了音频信号的输入端后就用电烙铁把这根音频线焊好吧。

经过以上几步，一个自制的MP3扩音器就大功告成了，听听音乐吧，是不是很有成就感呢？

广大爱好电子的司机朋友也可以如法炮制，将你的爱车的收音机引出一根音频输入线，插上MP3就可以收听优美的音乐了。

看看具有应急功能的收音机

◎红色电波

图1 GREEN–168收音机的正面外观图

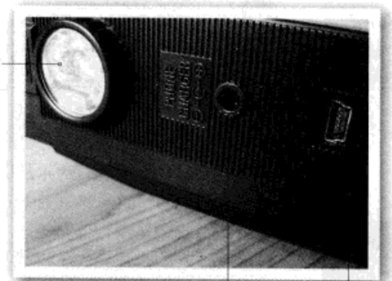


图2 GREEN–168收音机的左侧面图

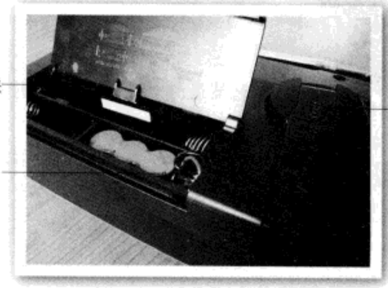


图3 GREEN–168收音机的背面图

德生GREEN-168是东莞德生通用电器制造有限公司推出的一款具有调频/调幅四波段功能的改进型应急收音机。所谓应急收音机就是在普通收音机的基础上增加一些应急功能，这样在遇到灾害或危急的时候，就能增加自救和获救的机会，因此，近年来，应急收音机越来越受到人们的重视。

德生GREEN-168应急收音机的基本性能如附表所示，其扬声器输出功率大于125mW。GREEN-168应急收音机的主要操作旋钮位于收音机的两侧（见图1），与普通收音机相比它最明显的特点是增加了特殊的应急功能。

1. 照明功能：遇上停电的夜晚或夜晚在野外时，GREEN-168 收音机能提供照明功能，照明灯（见图 2）位于收音机的左侧，它采用高亮度发光二极管，既明亮又省电。

2. 频闪光警报功能：频闪灯（见图2）位于收音机的左侧，它采用红色发光二极管，当照明开关拨到FALSH挡位时，频闪灯发出一闪一闪的红光，起到警报或警示的作用。照明灯和频闪灯安装在由塑料制成的银色反光灯罩里，这样能增强照明或频闪灯光的强度。

3. 警报声功能：当警报器开关开通时，GREEN-168收音机扬声器将发出宏亮的警报声，能起到紧急呼叫的作用。

4. 手机充电接口：可以输出电压给手机充电。

5. USB 5V 直流输入插口：可以连接计算机的USB接口，利用USB的5V电压为收音机提供工作电源或给收音机的充电电池充电。

6. 特殊电池仓：GREEN-168收音机的电池仓和一般的收音机相比，不但能放置普通的干电池，还能放置一个充电

附表

波段	调频	中波	短波1	短波2
频率范围	88~108MHz	525~1610kHz	3.2~9.0MHz	9.0~22MHz
灵敏度	优于 10μV	优于 1μV	优于 50μV	

图4 手摇发电机的手摇摇柄展开后的状态

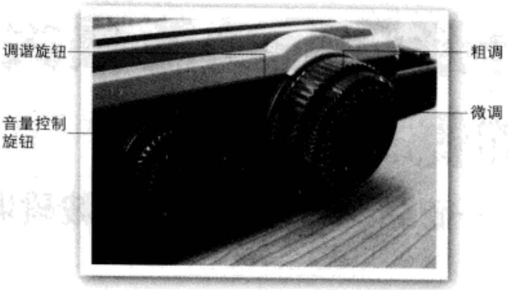


图5 GREEN—168的右侧面图

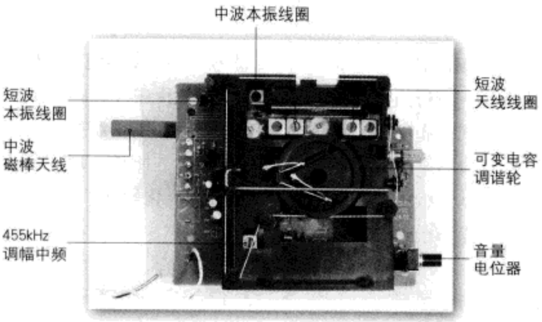


图6 内部结构

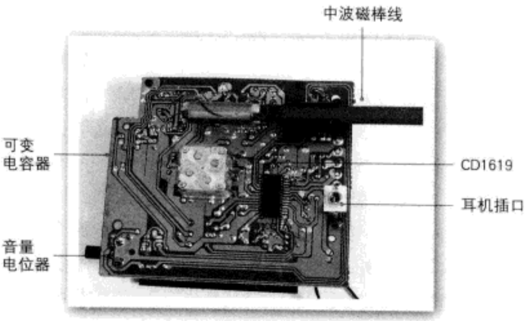


图7 电路板背面

小知识

短波米波段划分表

米波段	频率范围（频率单位：MHz）	波段说明	电台接收情况
11	25.67～26.10	国际波段	电台极少
13	21.45～21.85	国际波段	电台极少，下午能收个别电台
15	18.90～19.02	国际波段	电台多，中午至晚上9：00前较好，早晨、上午效果一般，深夜至早晨电台较少
16	17.48～17.90	国际波段	
19	15.10～15.80	国际波段	
21或22	13.57～13.87	国际波段	傍晚收听最好，但电台不多
25	11.60～12.10	国际波段	电台最多，整日都好，早晨、上午、傍晚至12点前最好
31	9.40～9.90	国际波段	
41	7.10～7.35	国际波段	电台多，早晨、傍晚和深夜收到电台多，但容易受干扰，杂音大
49	5.90～6.20	国际波段	
60	4.75～5.60	地区波段	
75	3.90～4.00	国际波段	夜间效果好，但电台不多，白天效果差，杂音极大
90	3.20～3.40	地区波段	
120	2.30～2.495	地区波段	

●注：接收效果受季节的影响略有不同

黄煌元提供

电池组（见图3），也就是说，GREEN电池仓能给收音机提供两种电源供电。

7. 手摇发电机：电池仓的旁边还设置有一个手摇发电机（见图4），发电机的手摇柄可以折叠起来。摇动手柄，手摇发电机即可发电，手摇转动方向没有限制，既可顺时针转，也可逆时针转动，手摇发电输出的电流一方面可以直接供给收音机和应急线路使用，另一方面能为充电电池组充电或通过手机充电接口输出给手机充电。

调谐旋钮和音量控制器在收音机的右侧（见图5），调谐旋钮分粗调和微调，外圈是粗调，内圈是微调，它们之间采用行星齿轮变速，调节粗调可以快速移动刻度盘频率指针，然后调节微调即能比较精确地调准接收频率。音量控制器可调节收音机音量大小。

打开收音机的外壳，可以看到紧凑合理的内部结构（见图6）和工艺精良的电路板（见图7），其收音部分主要是由CD1619及外围元件构成，CD1619属于单片收音机集成电路，与SONY的CX1619功能相同，因此该收音机性能稳定、音质优良。Ⓦ

外形靓丽功能强大的德劲DE1123

——德劲DE1123 DSP全波段收音机测评

◎赵昶

前日，笔者试用了国内名厂“德劲”的收音机新品——“DE1123数字调谐全波段收音机”，她外观小巧、工艺精致，13mm超薄机身和入手重实的手感立即打动了我，于是在第一时间迫不及待地把玩起来。

打开电源，边对照说明书边操作，很快熟悉了机器的功能，经过两天“折腾”后，对DE1123收音机有了全面的印象，在此和大家一起分享我的玩机心得。

一 外观篇

DE1123有黑色和银灰色两种颜色版本，内置的FLASH闪存有1G、2G和4G三种版本，我拿到的是黑色机身、内存容量1GB的机。

装入电池，收音机LCD屏显示日期是2009年2月16日，貌似准备2月16日正式上市的吧。

DE1123只有13mm的超薄机身，外观更像一台ipod或者带外接扬声器的MP3播放器，尽显简约与经典。顶部为液晶屏，液晶屏和扬声器之间分布着几乎所有的操作按键。按键集中于中上部，比较适合单手操作。从面板上看到每个键都有多重功能，操作前一定要仔细阅读使用说明书。

操作收音机时液晶屏的背光可自动打开，晶莹柔和的绿色背光，在夜间使用既方便而且不刺眼。

DE1123可以很方便地放在上衣的口袋里，顶部的耳机孔正好方便引出耳机，FM的拉杆天线也从上部拉出

（用耳机收听时不用拉出天线）。虽然看上去是薄薄的机身，但入手却有种厚重的感觉，足见其内部用料并不简单。值得一提的是：厂家不仅在易用性方面下了功夫，同时还申请了外观设计专利。

DE1123收音机能做到很小体积，得益于DSP数字调谐芯片。DSP技术不需要传统收音机的统调，在生产和使用中能保持较好的一致性。在使用中，由于没有随年代而老化的可调器件，能长久地保持收听效果，不受元件老化影响。

二 基本功能篇

DE1123不仅仅是一款DSP收音机，收音机+MP3+录音的构造，目前国内似乎只是“德劲”在独舞，从DE1121、1122到现在的DE1123收音机搭载MP3已成为一些玩家的购机选择。

DE1123收音机覆盖FM、MW、SW全波段收音，FM调频立体声频率支持64~108MHz、MW中波为522~1710kHz、SW短波为2.3~23MHz。

FM可设置成64~108MHz，支持校园广播和电视伴音收听，也能设置普通的87~108MHz频段模式。短波覆盖范围广，按米波段分段。

机器可存储225个电台频率，所存储的电台即使是掉电后也不会丢失。

DE1123的特色功能：

◆ 定时开机 / 睡眠关机

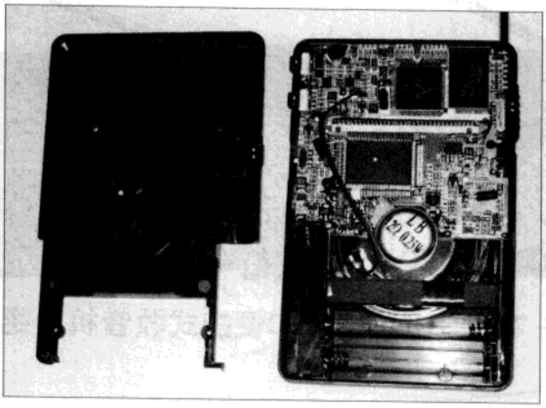
◆ 录制收音或内置MIC外录

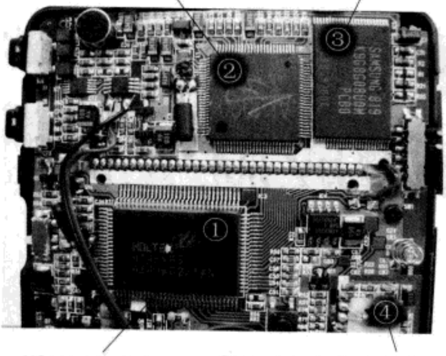
◆ MP3/WMA播放

◆ Mini-USB数据接口 / 支持USB 2.0 / 连接电脑或用于充电

◆ 1G（2G、4G）U盘功能

◆ 按键锁





◆ 电子音量控制

◆ LCD屏 / 绿色背光

◆ 电池电量显示 / 智能充电

◆ 存储225个电台频率 / 自动搜索存台功能

三 性能篇

大家应该都比较关心如此多功能的DE1123其效果究竟怎么样——我的感觉是还行。

◆ 收音方面

FM虽然可以有64~108MHz的选择，对于我意义倒不大，因为FM87.5MHz频率以下根本搜不到电台，DE1123在FM方面的表现尚佳，天线虽短，强信号电台声音清晰、干扰少，只是弱信号台收听效果一般。

可能由于超薄机身的缘故，扬声器的频响牺牲了低频的部分，低音几乎没有，用耳机听低音也欠了些。

大家知道，在电波繁杂的环境里、在钢筋混凝土室内听中波效果会很差，所以只好把DE1123拿到外面花园里收听MW广播了。对于那些“听中波才是听收音”的机友来说，DE1123是个不错的选择，拿在手里或放在口袋里漫步，比较惬意，袖珍、超薄机的感觉就是一个字——好！

老实说，DE1123跟其他市面上同档次的DSP收音机一样，在短波收听效果上都差不多。由于不能直接输入频率，找电台都比较困难，建议使用时把常听的短波频率存储起来。

说到存储电台，ATS（自动搜索存储）功能十分重要，对于同类的DSP收音机，没有飞梭又不能直接输入频率，自动寻台功能的使用是操作中不可少的，但DE1123的自动寻台功能在FM和中波的表现犹可，但短波收听时性能稍弱。

◆ MP3播放

DE1123对MP3和WMA文件的解码没有任何问题，除了LCD屏的限制不能显示歌名等信息外，个人觉得没有太多的不足，毕竟不是专门的MP3，内置扬声器的频率响应使得更适合听一些中高频丰富的曲目。

◆ 录音

能适时地把感兴趣的电台节目录起来保存，十分方便，相信很多机友也像我一样，一直对能录制收音节目功能的收音机情有独钟。DE1123录制节目时要把音量调到最大，否则录制的声音很小。

四 硬件篇

最后来简单地了解一下DE1123的内部结构。

◆ 内部结构

关机并卸下电池，然后小心打开后盖，露出其内部电路板，几片密脚集成映入眼帘，机内采用贴片工艺设计制造，内部结构紧凑、布局合理。电路板反面除LCD屏外基本没有电子元件，正面可以一览所有的电子元件。

DSP芯片为Silicon Labs Si4734，这是业界体积最小、整合度最高的DSP收音机芯片，Si4734利用低中频数字架构，提供更优异的整合度、性能、体积和成本。3mm×3mm×0.55mm的微小封装隐藏于一块贴纸下方，不注意几乎没有发现它。

MP3主控芯片为AK1020，最高支持4G闪存，是珠海炬力ATJ2097方案的完全代用品。闪存芯片采用的是三星的Flash。

MCU采用HOLTEK单片机HT46R65，HT46R65是8位高性能、精简指令集单片机，专门为需要A/D转换和LCD显示的产品而设计的。

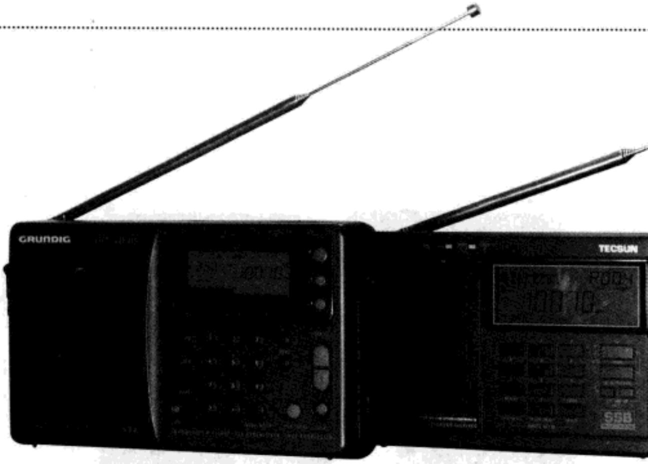
◆ 耗电测试

待机：80μA，收音：50mA（音量16）/ 80mA（音量31），MP3：85mA（音量16）/ 130mA（音量31），录音：MIC录音，30mA。

以上测试结果均为近似值。

◎黄平

细节造就优秀 均衡成就完美



——TECSUN PL-600便携式收音机介绍

便携式收音机既可移动收听，又可固定收听，一直深受广播爱好者的青睐。国内外收音机厂家投入技术最多、产品最丰富的，也正是这种机型。不久前，笔者在商场看见一款TECSUN（德生）PL-600便携式数字调谐收音机（见图1），面板上的“SSB”（单边带）和“AM DUAL CONVERSION”（调幅二次变频）标志，说明这是目前国产最高档次的便携机之一。凭着对TECSUN品牌的信任，笔者毫不犹豫地从“淘宝”上购回一部。使用、把玩一个月后，感觉该机接收性能优秀，功能丰富实用，人机界面友好，现对其做比较全面的介绍，以飨读者。

一 整机概述和产品背景

TECSUN PL-600是德生公司于2008年年底推出的，具备调频、短波、短波SSB、中波、长波全波段接收模式，采用数字调谐+二次变频的电路架构，可以存储600个电台频率。

用纵向发展的眼光来看，PL-600显然是自家产品PL-550的“硬件升级版”，当年的PL-550使用“可变中频”来转移镜像干扰，PL-600则使用“二次变频”彻底消灭镜像干扰；PL-600还具备PL-550所缺乏的业余单边带接收功能，增加了可玩性。和德生最新推出的小旗舰S-2000准专业接收机相比，PL-600又是S-2000的“软件热身版”，同时拥有这两部收音机的广播爱好者很快就会发现，两部机器的操作界面似曾相识。对厂家来说，PL-600应该是承前启后、继往开来的产品。

二 外观工艺和配件详情

PL-600整机宽18.8cm×高11.6cm×厚3.1cm，面板和32开纸张差不多大。从一些细节来看，PL-600的外形设计是很贴心的。如背面有一块可以张开/闭合的挡板，方便收音机斜放；底部还有一个能拉出/缩进的支架，方便收音机竖放（见图2）。又如笔者购买的PL-600是黑色外观，曾不小心跌落导致一个边角受损，但从受损处可看出塑料机壳底色和外观颜色一致，这种非喷涂的工艺，大大地减小了磨损引起的“花脸”现象。PL-600的工艺也是相当精致的，没有毛

图1

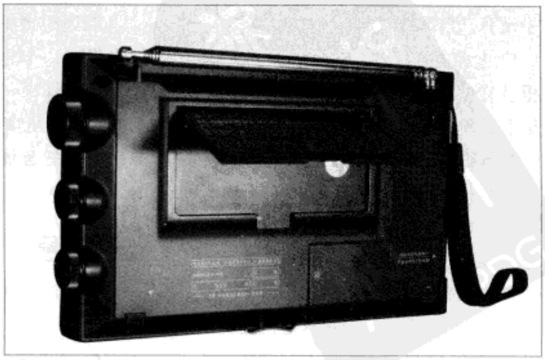


图2

刺，印字清晰，按键手感不错，旋钮顺滑，屏幕背光均匀。

PL-600所附带的配件完善且实用：一条外接软天线，可明显改善短波接收效果。一个外接电源兼充电器，再加上四节镍氢充电电池，室内外使用两相宜。还有一个保护套和一副耳塞。但不得不说的是随机配送的镍氢充电电池的一致性比较差，常因某一节电池容量减小而导致使用时间急剧减少，目前市面上1300mAh的GP充电电池便宜又普及，建议更换之。还有那个耳塞音质平平，笔者试了多种入门耳塞，感觉用铁三角C-502或C-602代换，音质提升立竿见影。

三 特色功能和操控界面

1. 从“接收”的角度看

(1) 三挡灵敏度调整功能，防止强台过载。和其他收音机常用“天线衰减法”不同，PL-600的灵敏度调整功能是通过改变机内高放电路增益来实现的，从而取得衰减灵敏度和保证信噪比的和谐统一。

(2) 调频0.01MHz、调幅1kHz精细步进。如果机器存在轻微的中频频偏，可以故意略微调偏接收频率，从而抵消中频频偏，以取得更好的接收效果。

(3) 调频接收频率可自行设置为76~108MHz或87~108MHz。前者可接收校园广播和第四频道电视伴音，但因频宽关系，容易收到镜像台，且搜索整个波段所需的时间较长。后者和前者的优、缺点恰恰相反，用户可选择自己喜欢的设置。

(4) 短波、中波、长波采用高中频二次变频设计，杜绝镜像干扰；具备宽、窄带选择功能，兼顾音质和抗临频干扰。

(5) 短波单边带接收功能，可以收听业余电台，增加可玩性和趣味性。德生官方论坛上，甚至有网友破解出PL-600隐藏的AIR（航空波段）接收功能：关机，按“SYSTEM SET”键，按“0”、“3”数字键，再按“SYSTEM SET”键，开机，反复按“FM-MW-LW”键直到屏幕上出现飞机图样和AIR字样(见图3)。如果想取消航空波段接收功能，再次重复上述步骤即可。笔者按图索骥了一番，可以调出界面，但并没有收到有用的信号，看来在硬件上并不支持。据此推测德生在PL-600开发研制之初，把接收航空波段列入考虑范围，但后来不知由于什么原因取消了。

2. 从“收听”的角度看

(1) 内置可关闭的调频立体声解码功能，当信号较好时，开启立体声功能，用耳机可享受优美的立体声广播；当信号不好时，可手动关闭立体声功能，减轻“嘶嘶”的背景噪声。

(2) 自动搜索时自行开启静噪功能，可以基本上跳过杂信干扰，不会锁住无用信号，搜索速度快；手动搜索时自行关闭静噪功能，可以捕捉到信号很弱的电台，调谐过程中听感自然，很有老式收音机的调台感觉，消除了以往数调机常见的手动调台“打嗝”声。

(3) 600个电台频率存储空间，而且其中500个可以自由分页。如每页10个记忆频率×50页，每页20个记忆频率×25页……如果喜欢按时段收听，可设置成20个记忆频率×25页，其中24页分别对应每天24小时，如把早上8:00－8:59要听的电台频率存储在第8页，9:00－9:59要听的电台频率存储在第9页……这样，到了几点钟，就听第几页内存储的广播电台，方便极了！至于剩下的1页，可以存储一些最喜欢的电台，更方便随心所欲地收听。

(4) 自动关机功能和双定时自动开机功能。PL-600可实现1~120分钟内自动关机，让您在收听广播中轻松入眠；两个定时自动开机功能，可预先设定自动开机时接收的广播频率，还可选择自动开机后的1~90分钟内自动关机，让您不会错过预约收听的广播节目。

3. 从“实用”的角度看

(1) ATS功能类似EASY模式，让用户在第一时间入门。PL-600的ATS(自动搜索并自动存储）功能非常好用，打开电源开关，长时间按“ATS”键（见图4)，几秒之后就可以享受机器自动为您搜索并存储的调频/中波电台了。如果您经常出差，无论身在何处，只要使用ATS功能，就能马上收听到当地广播。

(2) 使用自动搜索功能时，短波只在米波段频率范围内搜寻，大大地节

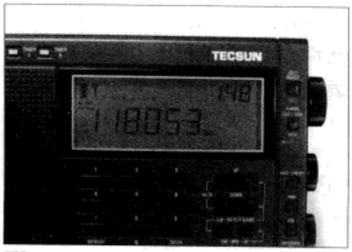


图3

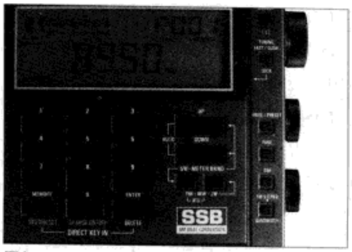


图4

图5

表1 调频的对比

项目型号	灵敏度	抗阻塞	临频 选择性	扬声器 音质	耳机音质	得分小计
PL–600	5	5	4	5	4	23
YB400	4	5	3	5	5	22

备注：（1）因YB400调频接收频率是87～108MHz，调频广播电台的镜像干扰不会落在本波段内，故不进行调频抗镜像干扰对比。（2）耳机音质评价是综合保真度、底噪、立体声分离度后的整体评价。

表2 短波的对比

项目 型号	灵敏度	抗阻塞	临频 选择性	AGC	抗镜像	音质	得分 小计
PL–600	5	5	5	5	5	5	30
YB400	4	5	5	4	5	5	28

备注：（1）短波AGC即短波自动增益控制，它的作用是根据信号强度自动调整信号放大倍数，从而避免短波电台声音的忽大忽小。（2）音质评价是在分别对比扬声器音质和耳机音质后的总体评价（下同）。

表3 短波SSB的对比

项目型号	灵敏度	拍频易于 调整	语音 可懂度	背景噪声	得分小计
PL–600	4	4	4	4	16
YB400	3	3	3	3	12

备注：因测试当天短波SSB信号很弱，两机都使用外接天线。

表4 中波的对比

项目型号	灵敏度	抗阻塞	临频 选择性	音质	得分小计
PL–600	4	5	5	5	19
YB400	5	5	5	5	20

图6

约了搜索时间。如果对米波段外的非主流频率也感兴趣，那么手动搜索功能可满足猎奇心理。

（3）电台浏览功能。搜到每一个电台都会播放3秒钟，假如感兴趣，可以按“UP”或“DOWN”键让它停止搜索，就可以收听那个电台。

（4）多功能飞梭可调整频率、电台存储序号、各种时间和充电时间等，操作简便又直观（见图5）。

（5）人机界面友好，操作易学难忘，菜单人性化十足，自动／手动功能安排合理，让使用者总有这一种感觉——“产品设计师总为我想到更多的细节”。限于篇幅，笔者在这里不一一介绍。

四 收听效果和对比测试

只有对比所产生的结论才令人信服，笔者在这里选择了GRUNDIG（根德）YB400与之比拼（见图6）。YB400是根德为全球广播爱好者生产的中档便携式收音机，该机委托国内曾经赫赫有名的“华谱”企业生产加工（“华谱”企业制造出我国第一部十波段收音机——“地球”牌，老收音机爱好者应该有很深的印象）。YB400同样采用数字调谐+二次变频的电路架构，基本接收功能也和PL-600大同小异。如果摒弃价格因素，两机的较量应该是同一起跑线上的竞争。由于笔者手头缺乏专业的测试仪器，所以整个比拼过程以实际收听为主。比试的过程是枯燥的，也没有必要啰嗦，仅列出对比平台和结果。

对比平台——接收环境：室内四楼，临街，电磁环境一般。接收天线：本机拉杆天线，全部抽出，接收短波SSB电台和测试短波抗阻塞性能时使用各自的外接天线。耳机：AKG K99，32Ω半开放式监听级。

评价标准——5：好。4：较好。3：一般。2：较差。1：差。

对比结果如表1~表4所示（因国内无长波广播电台，故长波段就不比较）。

收听效果总分：PL-600获得88分，YB400获得82分。至于其他方面的比较结果，简要叙述如下。外观工艺：两者相当。功能：PL-600多于YB400。操作便利度：PL600远胜YB400。价格：PL-600的最低网购价300元左右，而YB400当年价格950元，前者仅为后者1/3。无疑，PL-600不但在收听效果方面总体占优，在其他方面的比较中优势更为明显。

五 总体评价和改进意见

TECSUN PL-600在工艺、接收、音质、菜单上都相当出色，整机没有明显缺点。我们说一台收音机要在某一“点”上做得出色并不难，但要在各个方面都做得好，需要对产品内涵有着深刻的把握。只有各方面表现都比较均衡的机器，才能被挑剔的爱好者所接受、被竞争激烈的市场所认可，PL-600正是一部设计成熟，注重细节，均衡匀称的收音机。如果PL-600的中波灵敏度能再提高一点点，并增设按键背光，它将更优秀、更完美！

知识介绍 浅谈收音机有源天线

◎xyz

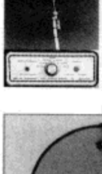
市场上有林林总总的有源天线，爱好者们自己也不断地DIY颇具特色的有源天线。有源天线到底能干什么呢？为什么得爱好者们对它一直孜孜以求呢？有源天线的作用到底是什么呢？

电气化、电子化、信息化的现代城市给人们提供了舒适的生活环境，同时也造就了大量的干扰，尤其是中波和短波段的广播接收变得越来越困难。资深爱好者都知道，在20世纪60年代或70年代一台3AG11单管来复再生收音机在室内能收到上千公里外的广播，而现在一台1103高档二次变频收音机在室内的接收范围不超过100公里，这都是现代钢筋水泥建筑屏蔽和各式各样的电气电子干扰在作祟。对于一般标准家居来讲，舒适的客厅沙发或者卧房床榻是享受广播的最佳场合，但也是电磁波干扰的重灾区，窗户阳台周围的电波相对非常纯净，却绝不是舒适享受的环境。如何调和这样的矛盾呢？我们来设想收音机天线和输入电路是“牙”，后续电路是“胃”。我们把收音机使劲“拉”得足够长，使“牙”进入窗户、阳台等电波纯净区域，同时让“胃”留在沙发、床榻等舒适享受区域，让“牙”、“胃”分家，矛盾就迎刃而解了。在现实中，有源天线就是“牙”，收音机就是“胃”。所以，有源天线的作用就是在现代家居充满各种干扰屏蔽的环境中，同时又在不允许架设长线天线的条件下，有效延长收音机的触角，充当收音机的牙齿，实现“牙”、“胃”分家的作用。

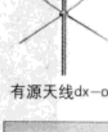
有源天线DE35

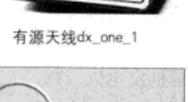
有源天线de31_1

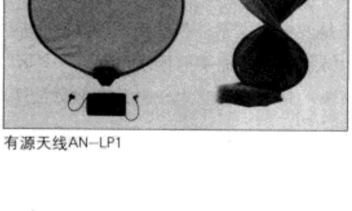
什么样的有源天线更能担负起“牙”、“胃”分家的作用？让我们来分析这样一个最简单的有源天线：一个壳子内含有一个调谐回路和一个缓冲放大器再加上电池。这样的天线在“牙”、“胃”分家的条件下充当牙齿触角有明显的弊端，其原因是天线和收音机都需要调谐，收听者将不断地来回奔忙于“牙”、“胃”之间，享受广播从何谈起？所以笔者以为合格的有源天线必须具备遥控调谐功能或者干脆具备宽带型免调谐功能，让全部操作在“胃”端完成。可喜的是这样的合格天线已经面世，市售遥控天线有中低档小巧玲珑的DE31系列，还有高档全功能全频段全天候的TS007系列等，宽带免调谐天线有SONY的AN1，还有国产DE32等。遥控调谐天线比免调谐天线在使用上稍微繁琐，但因为有调谐回路，对肠胃不佳的低档山寨收音机同样有疗效，而宽带免调谐收音机虽然使用异常方便，但最好还是配以肠胃健全的高档收音机，如1103、PL600等。广播爱好者在百尺竿头更进一步的年代可以根据自己的需要进行选择。


有源天线_dx1pro_head_plimmer

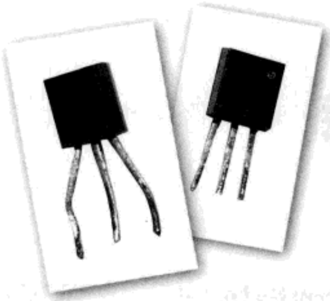
有源天线 da100


有源天线dx-one


有源天线dx_one_1


有源天线AN-LP1

有源天线t007



手摇发电过猛出现的意外

◎红色电波

我的GREEN-168收音机是具有手摇发电功能的，我一直是利用这个手摇发电功能给收音机充电的。这一次我正在用力摇手柄给收音机充电时，不巧有急事要外出，于是我一手抱着收音机，一手飞快地旋转摇手柄——非常非常地快。几分钟后，发现收音机的红色充电指示灯还在发亮，以为是刚才摇得太猛，把缓冲电容灌得满满的。但等我搁下收音机，准备出门时，看见充电指示灯还依然亮着，“不对呀！”这时我才意识到可能是收音机出故障了，估计是里边的隔离二极管之类的元件被击穿了。

下面的工作是拆机检查。图1所示的是拆开GREEN-168收音机的前盖后看到的电源部分的电路板，图2所示的是电源电路板的元件面的情况，从图2上可以清楚地看到发电机整流组和稳压电源部分的元器件。我从充电指示的发光二极管查起，图3所示的是电源电路的板图。这是一块单面板，走线粗，检查和测量都比较方便。经检查此二极管没有问题，再用万用表电压挡从发光二极管阳极电压进行跟踪测试，发现晶体管S8050不正常，而S8050的基极是来自发电机整流组的正极，再细看，发现这个S8050其实是一个稳压电源电路的电压调整管，这个稳压电源的作用就是把发电机输出的电压进行稳压，之后再给收音机充电电池充电，最后发现是稳压电源电路的电压调整管S8050损坏了。图4所示的是与检查相关的部分电路原理图。

拆下晶体管S8050进行测量，果真！S8050的3个引脚都处处导通，真晕！我费了九牛二虎之力来手摇充电，竟然把一个中小功率的晶体管给摇得击穿了。从拆下来的损坏晶体管看，不像是过流造成的损坏，可能被手摇发电的瞬间高压击穿造成的，因为一般因电流过大损坏的晶体管往往都会有过热发焦的迹象！

换上新的调整管S8050，再试着摇动手摇柄发电机，充电指示灯亮！放下手摇柄，充电指示灯熄灭！接着，再用万用电表对相关的电路作了检查，最后确认收音机已经恢复正常了！

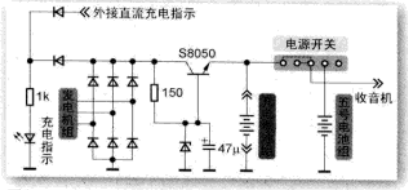


图4

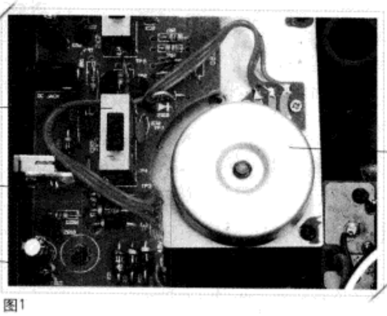


图1

图2

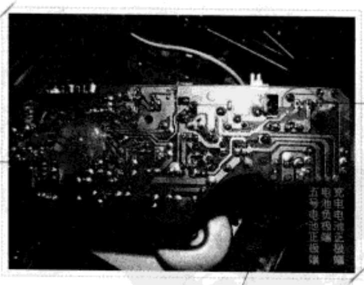


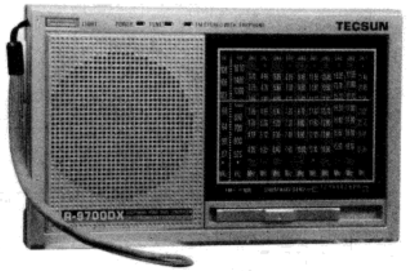
图3

这个故障我写出来是要告诉大家，在使用这种具有手摇发电功能的收音机时，特别是在转动手摇柄发电时，不要用力过猛，不用转动得太快，总之，不要太心急，不然会欲速则不达。

我与收音机的故事

◎红色电波

给德生R-9700DX收音机增加延时关机功能



R-9700DX是继德生短波王R-9700后的又一款性能优异的调频/调幅、短波二次变频多波段收音机。德生在推出这款收音机时用了一句令人难忘的广告词："五年磨一剑"。

R-9700DX从其型号命名上看，似乎沿承了短波王R-9700，但实际上，除了短波二次变频的技巧和R-9700相似外，在其他方面，如电路结构、元件选用、收音机外观等都作了重新的设计。在收音机附属功能上，R-9700DX特设刻度盘夜间照明功能，这大大地方便了使用者晚间收听广播。但R-9700DX没有设计延时关机的睡眠功能，若晚上睡觉前收听广播，临睡前必须手动关闭收音机，这对使用者有一定的不便，于是我决定自己动手给此收音机增加延时关机功能。

一 电路分析

在R-9700DX收音机的正面左上角有一个"LIGHT"按钮，在收音机的顶部左边还有一个"AUTO OFF/ON"开关，这就是R-9700DX的刻度盘照明功能。把顶部的开关拨到"ON"位置时，点亮刻度盘照明的发光二极管，而拨到"OFF"位置时则关闭照明，这个时候，如果按下正面的"LIGHT"按钮，刻度盘照明又将点亮，但点亮15秒左右后，照明会自动关闭，这就是刻度盘照明的"AUTO"功能。

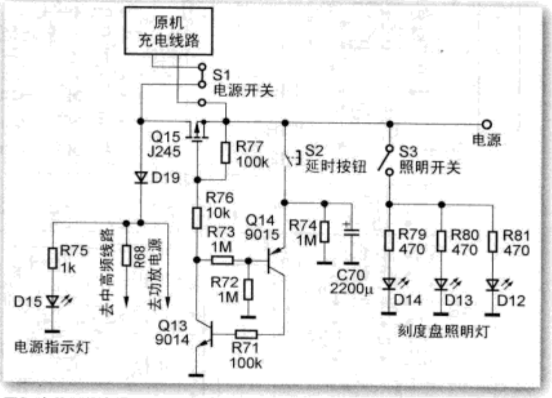


图2 改装后的电路

R-9700DX的整机电路如图1所示，图中的虚线部分为刻度盘照明电路（**为了便于读者分析和改装，本文电路图所用的元件符号和序号与原厂电路板完全相同**），照明电路由二极管D12、D13、D14、R79、R80、R81、控制开关S1、按钮S2等组成，自动关闭电路由Q13、Q14、Q15、R71、R72、R73、R74、R76、R77、C70组成。其工作原理如下：控制开关S1拨到"ON"位置时接通电源，D12、D13、D14点亮，R79、R80、R81是照明发光二极管的限流电阻；而当S1拨到"OFF"位置时，按下按钮S2，电容C70被迅速充电，同时Q14

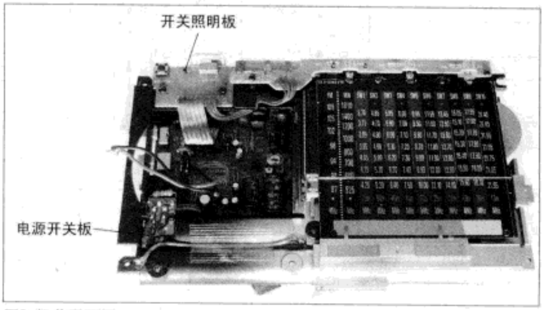


图3 机芯正面图

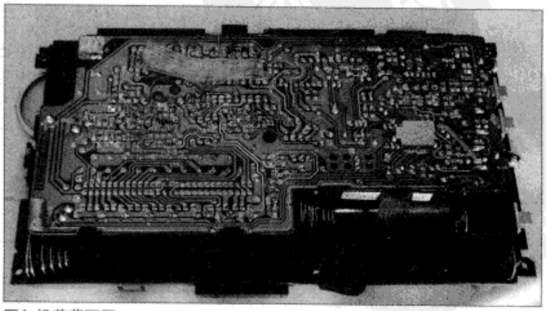


图4 机芯背面图

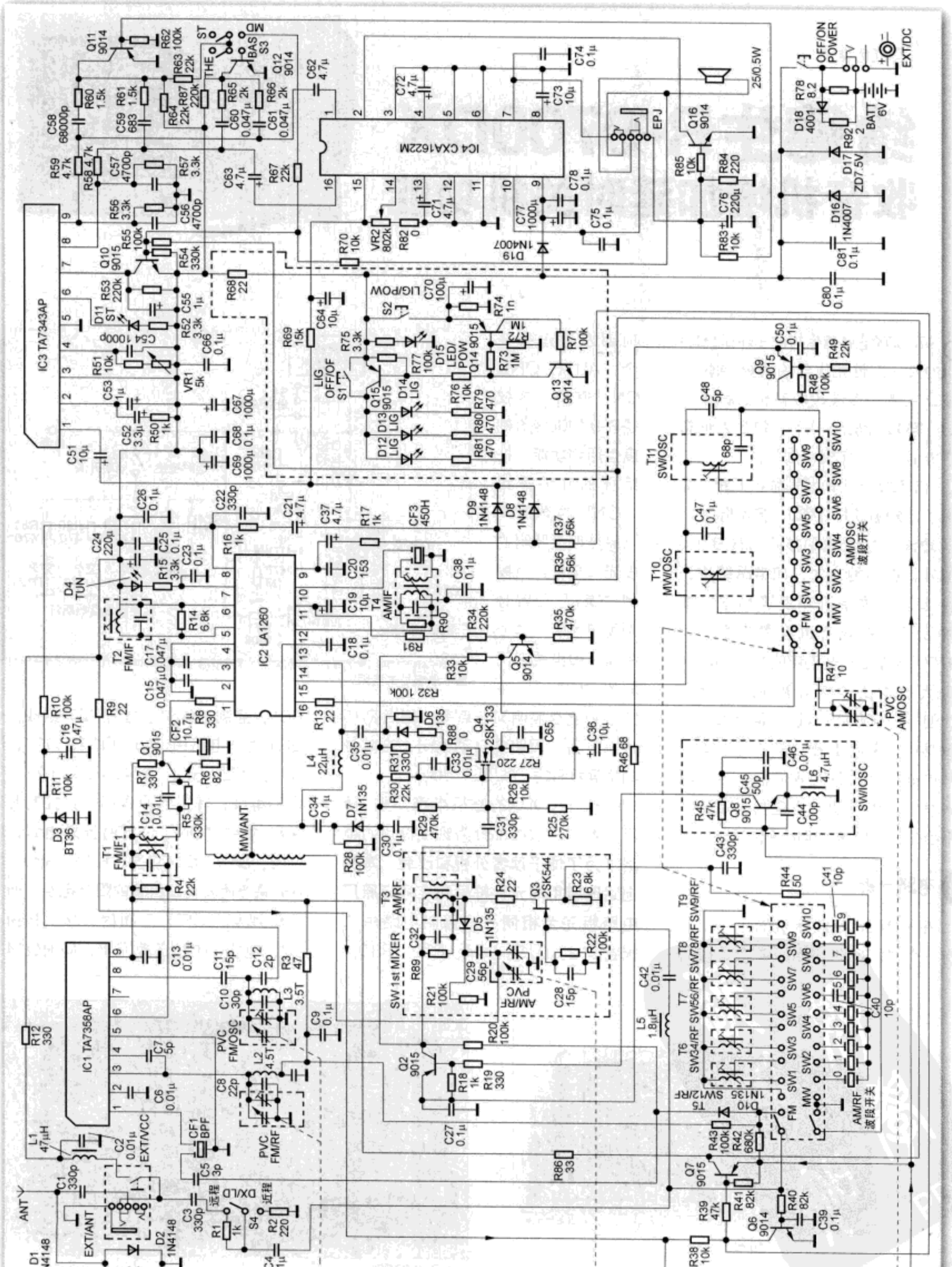


图1 德生R-9700DX的整机电路

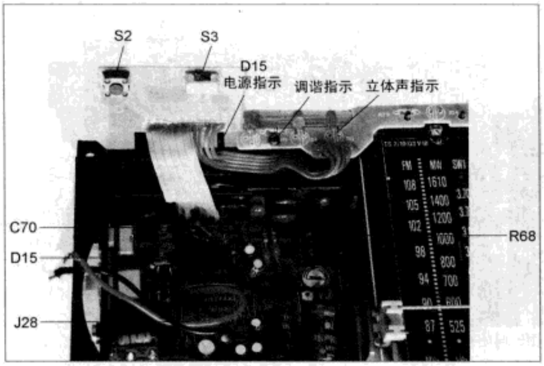


图5 将要进行拆装的元件

发射极获得偏置而导通，Q13因Q14的导通也导通，Q15基极通过电阻R76接地而导通，照明二极管点亮。放开按钮S2时，因C70被充电，Q14、Q13和Q15继续维持导通状态，C70通过电阻和Q14发射极放电，C70两端的电压将慢慢降低。当降低到0.7V左右时，Q14截止，Q13因Q14截止也随着截止，Q15基极电位升高因而也截止，照明二极管关闭，延时点亮结束，此时C70通过电阻R74继续放电，一直到C70两端的电压为零。

从以上分析看，此照明控制电路设计得很完善，既有手动控制，又有自动控制，但仔细研究后，感觉这样的设计过于繁琐了。实际上，控制照明灯只要一个拨动开关就可以了，延时熄灭的意义不大。如果保留S1拨动开关以控制照明，把延时熄灭电路改造成延时关机电路，这样R-9700DX收音机既保留了刻度盘夜间照明功能，又能增加更加实用的延时关机功能了。

因R9700DX收音机是单面电路板布线，本着尽量不去切割原电路板走线的原则，改装后的电路如图2所示。改装的主要思路是：（1）断开照明延时电路的输入和输出端，在延时电路的输入端接电源，在输出端一路串联原电源开关，然后接照明二极管D12、D13、D14；在另一路通过22Ω电阻R68给收音机高、中频线路供电，通过二极管D19给功放集成电路IC4供电。（2）把原晶体管Q15更换成开关场效应管J245，将延时电容C70加大为2200μF。

二 改装步骤

1. 拆开收音机，取下机芯，焊开音响线和拉杆天线接线，这样取下整个机芯。拆下来的机芯正面如图3所示，机芯背面如图4所示。焊接时要小心，不要烫坏收音机刻度盘，因为此时刻度盘和调谐拉线都不用拆下来。

2. 拧下照明开关板的两颗小螺丝，拆下照明开关板，此时能看到将要进行拆装的元件，如图5所示。

3. 把Q15更换成开关场效应管J245，J245最好选择与原晶体管相同的封装，原晶体管基极接场效应管栅极。

4. 拆去原板上跳线J28、D19；拆下D19后，把D19两引脚接长，然后套上热塑管或绝缘管，将D19的正极接在J28的A端，D19的负极还接在原来的位置上，如图6所示。

5. 接着，拆下电阻R68靠近原D19负极的一端，把它改接到新安装的D19的负极端，如图7所示。至此，基本上就完成了照明延时熄灯电路和收音机电路的分割，这时，把机芯接上电源，插上耳机，打开电源开关，收音机应该能正常工作，但电源指示灯不会亮，下面来改接电源指示灯。

6. 拆下电阻R75（R75电路图上标注是3.3kΩ，而实际板上是1 kΩ），用导线将其引脚接长，然后把它安装在电源指示灯D15正极和D19的负极之间。此时可以给收音机通上电源，如果以上改装成功，那收音机就应该可以正常工作，仅仅刻度盘照明不会点亮，因为那部分电路被分割后没有电源，因此，接下来工作就是接通延时

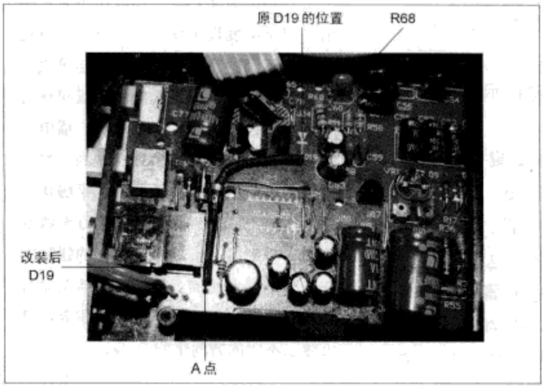


图6 D19的新安装的位置

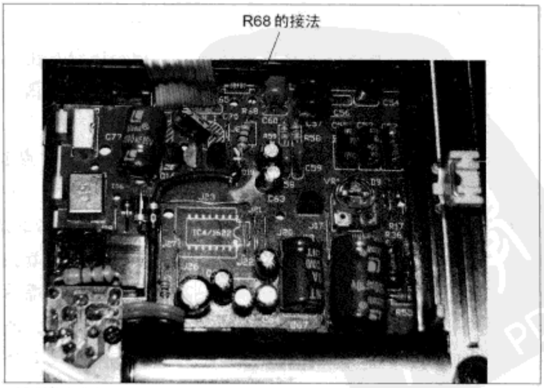


图7 R68的接法

附表

C70容量（μF）	470	1000	2200	4700
延时时间（分钟）	2	6	12	21

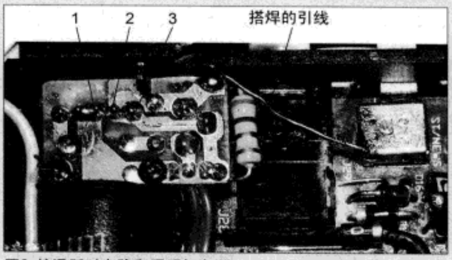


图8 接通延时电路和照明灯电源

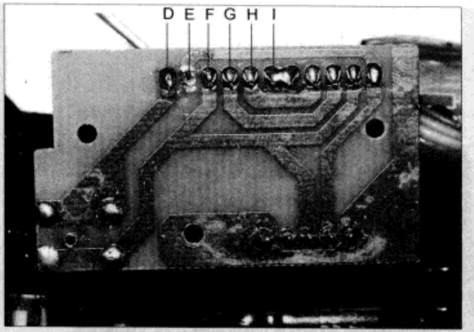


图9 照明开关板上E线的位置

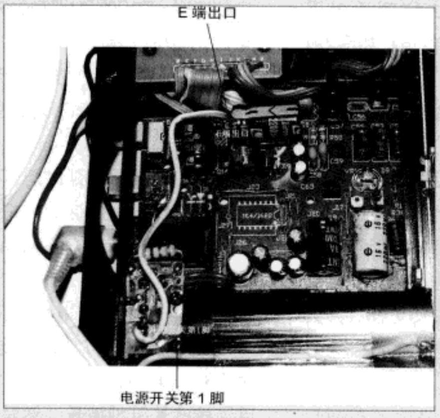


图10 从主板上E线的引出端接一根导线到电源开关上

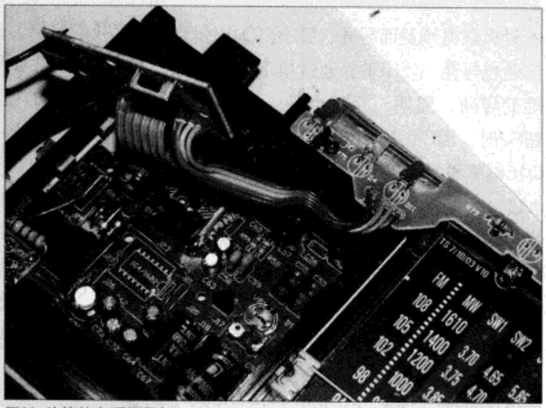


图11 改接的电源指示灯

电路和刻度盘照明灯电路的电源了。

7. 先把电源开关板安装好，然后在电源开关的第3脚（电源端）和立体声/单声（音调）切换开关的外壳上搭焊一根导线，如图8所示，这样延时熄灯电路就接通电源了，拨动照明灯开关（S3）或者按下延时启动按钮（S2），照明灯就能点亮了。

8. 调试延时电路的延时时间，拆下原来的延时充电电容C70（100μF的电解电容）。C70在电路板上有两个并联的安装位置，这是厂家用来调整延时熄灭时间的，通过这两个安装位置我们可以找到一个体积合适的新电容C70来调整收音机的延时关机时间。C70的容量与延时时间的关系如附表所示。

9. 把延时输出端改接到用于控制收音机电源。照明开关板与主板之间的连线标号为：D、E、F、G、H、I，一共6根，其中的E线为延时电路输出端，因此只要卸下E连线，然后从主板上的E线的引出端引一根导线，接到电源开关的第1脚（在电路板上1脚和2脚已经被合并在一起）上即可，如图9、图10所示。改接的电源指示灯如图11所示。

整个改装过程需要更换的元器件仅仅两个：一个是Q15，另一个是C70，因此改装成本非常低，改装过程看起来有点复杂，但不用去切割线路板走线，仅需拆下一些元器件，再改接一下即可。改装后，R9700DX收音机仍然保留着原来各种功能，如：充电、夜间照明等，但是刻度盘照明只能手动开关（S3）控制了，不论收音机电源在开或关的状态下均能通过S3打开照明灯。

小贴士

广播爱好者用收音机收听调频广播时，经常会发现不同的电台需要调整拉杆天线不同的角度才能达到最佳接收，便以为电波从发射塔发出的时候极化方向是随意设定的。其实不然！广播电台都是严格地执行国家相关标准的，发射电波的极化方向都是统一的水平极化。然而FM电波在传播过程中经历无数次反射、折射等，造成极化方向的错乱，在遍布高楼大厦的大城市，此情况尤其严重。因此，在收听的时候就需要拉杆天线以不同的方向来配合。

(XYZ)

德生S-2000收音机 电路简析（一）

◎红色电波

S-2000是德生通用电器制造有限公司2008年8月份推出的一款数字锁相调谐的高性能收音机，该机功能强大、性能优异，深受广大收音机爱好者的喜爱，我本人是收音机爱好者，对每一款自己喜欢的收音机都要做一个深入的研究，下面是我对这款收音机的剖析。

S-2000收音机的内部结构如图1所示，其主要电路有：操作控制部分、调谐接收部分、音频放大/输出部分及电源部分，下面介绍这几部分电路的特点。

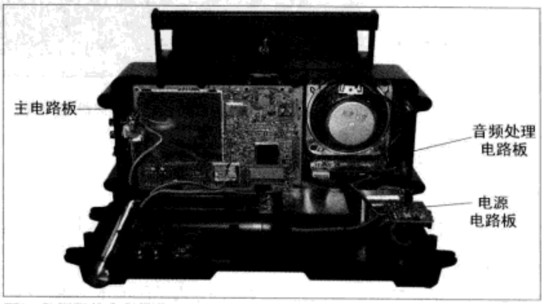


图1a S-2000的内部结构

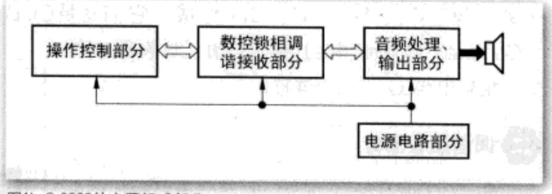


图1b S-2000的主要组成部分

一 操作控制部分

S-2000收音机的操作控制部分的电路板如图2所示，这部分电路主要由一片由德生命名为MCU－S2000的微处理器以及一些外围器件构成的，MCU－S2000的引脚功能如图3所示。在操作时，MCU-S2000可提供各操作状态的语音提示，以便在不看液晶屏幕的情况下也能进行操作和使用。

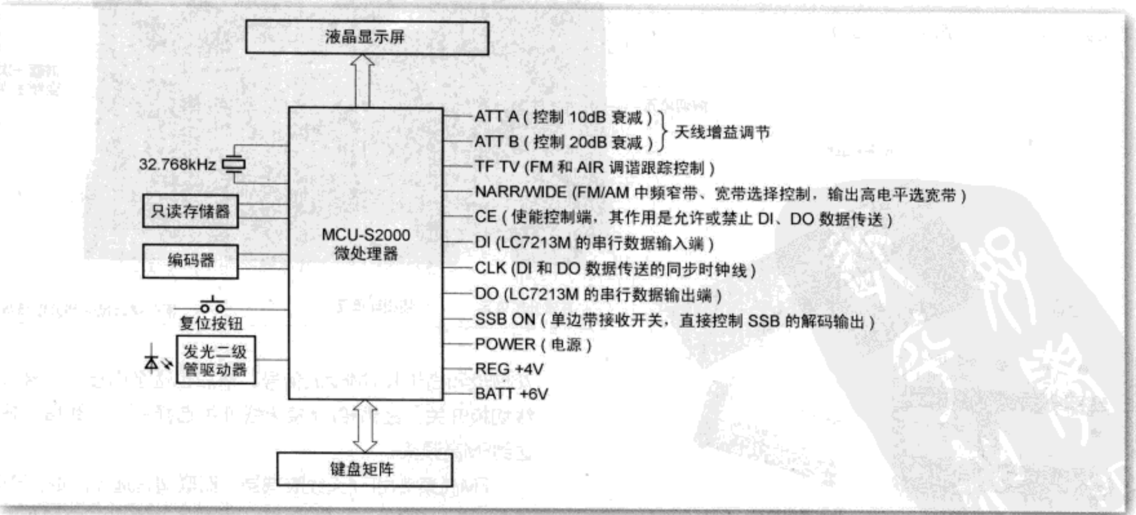


图2 S-2000操作控制电路板

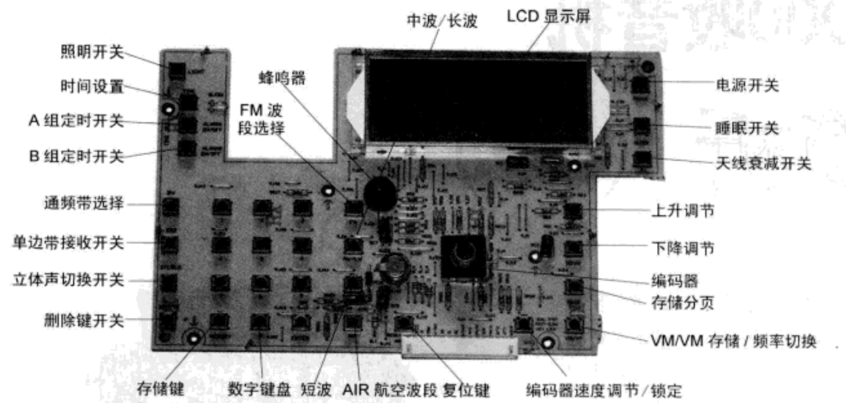


图3 MCU-S2000的引脚功能

该控制器控制的数据通信分为两组：一组是ATT A（控制10dB衰减）、ATT B（控制20dB衰减）、TF TV（FM和AIR调谐跟踪控制）、NARR/WIDE（FM/AM中频窄带、宽带选择控制）、SSB ON（单边带接收开关）；另外一组是CE、DI、DO、CLK组成，它们支持CCB（Computer Control Bus）格式信息，与收音部分的锁相环电路LC72137M连接。

二 调谐接收部分

S-2000收音机的调谐接收部分电路板如图4所示，接收信号通道分FM接收、AM接收、AIR航空波段接收以及SSB单边带接收。

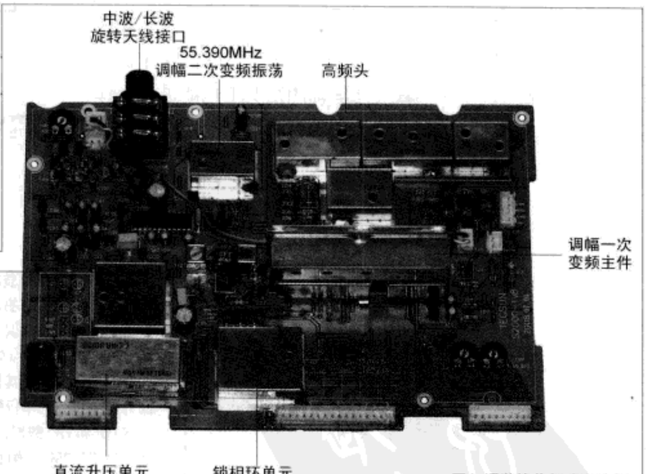
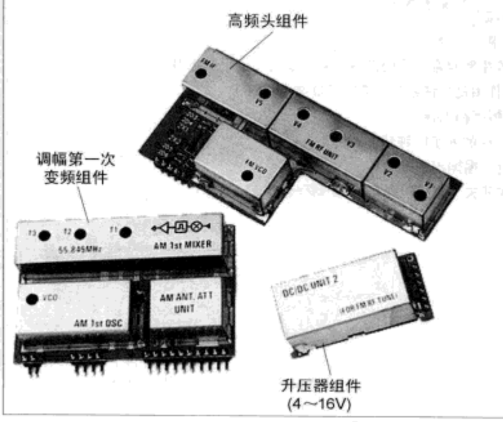


图4 调谐接收部分电路板



1. FM接收

FM和AIR射频通道共用。FM（AIR）天线信号来自两个地方，一是机内拉杆天线，二是FM（AIR）外接天线，FM接收部分原理框图如图5所示。

机内拉杆天线为FM、AIR及调幅短波共用，因此，电路上设置了由一只二极管构成的电子开关，进行FM（AIR）/SW天线信号分离，由锁相环电路LC72137M根据MCU的串行数据信号的指令送出波段切换电压，加至开关二极管的正极，二极管导通，天线信号经耦合电容送至内接、外接天线切换开关上；而FM外接天线是阻抗50ΩBNC型端口，外接天线信号先经过76～137MHz的带通滤波器，滤除低于76MHz和高于137MHz的信号，然后也送至内接、外接天线切换开关。经内接/外接天线开关选择后，天线信号输送到FM高频头。

FM高频头由FM天线衰减器、四联调谐选频回路、FM高频放大、FM本振、FM混频、中频滤波输出、中频预中

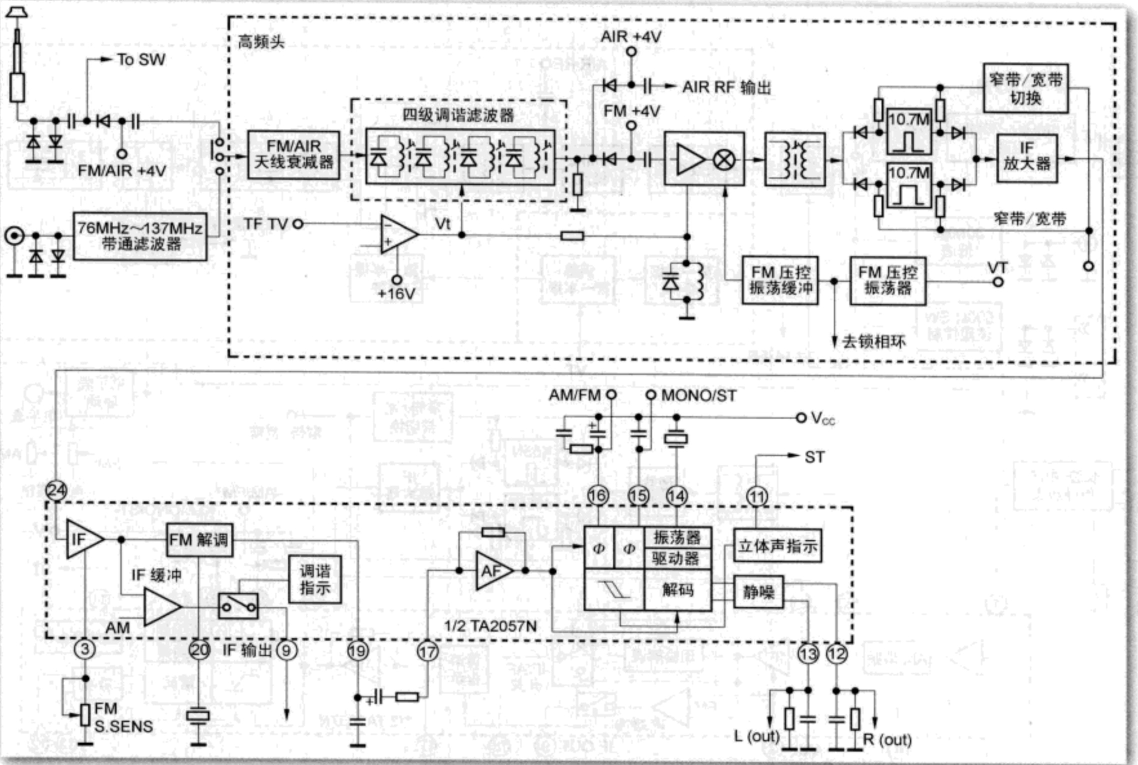


图5 FM接收通道原理框图

放以及中频带宽选择等几部分电路构成的，这些电路均集中在一个组件上，然后把它们全部屏蔽，以提高FM接收的稳定性和抗扰性。

送至高频头的天线信号在这里先后经过场强均衡、滤波、选频、放大、变频、中频滤波/放大/带宽选择/输出等处理，完成选择、放大电台信号，然后把电台信号转变成10.7MHz的中频信号输出。

10.7MHz的FM中频信号从FM高频头输出后，送入TA2057的24脚，在TA2057内部进行中频放大、鉴频，鉴频后的音频信号从19脚输出，经过滤波后再回到TA2057的17脚，在其内部完成立体声解调，然后经12（右声道）、13脚（左声道）输出音频信号。

2. AM接收

AM接收部分原理如图6所示，长波/中波信号（100~1700kHz）接收来自磁性天线或外接环形天线，为了提高接收效果，天线置于机顶并可任意角度旋转。长波/中波信号进入到由场效应管构成的LW/MW高频放大器进行信号放大，短波有3种天线形式：机内拉杆天线/50Ω外接天线/500外接天线。机内拉杆天线信号经1.6~30MHz带通滤波器后由一场效应管进行高频放大，然后经过内接/外接天线开关后与长波/中波高频放大后的信号进行波段切换（MW/SW），切换后的调幅信号经天线衰减器进入30MHz的低通滤波器，滤除高于30MHz的高频干扰信号后进入第一变频电路。

第一变频后输出的55.845MHz调幅信号输送到TA2057的1脚，和4脚输入的55.390MHz的第二本振信号再次进行混频，混频后的信号由23脚输出，经过增益调节线路后进行滤波，取出455kHz的第二中频信号。

该机设置了两种不同带宽的455kHz滤波器进行调幅窄/宽带选择，455kHz中频信号输入到TA2057的21脚，进行第二中频放大，然后在其内部完成解调、IF/AF输出切换，最后由18脚输出音频（AF）信号，在SSB接收时，18脚输出中频（IF）信号。18脚输出的音频信号经过音频

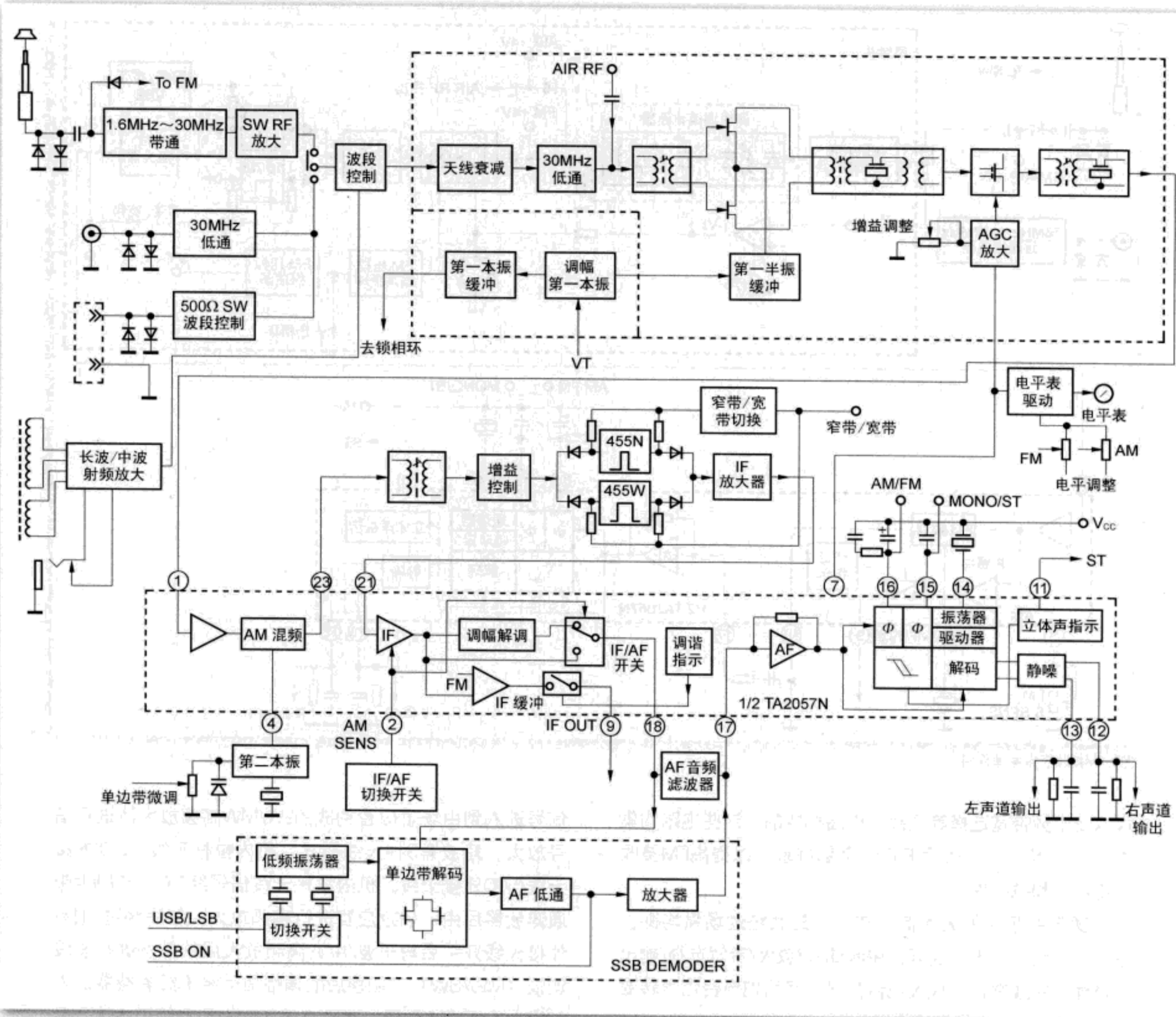


图6 AM接收示意图

滤波器（AF FILTER）后再回到17脚进行音频放大、静噪处理，最后由12、13脚输出音频信号。

3. AIR航空波段接收

AIR航空波段的频率范围为118～137MHz，跟FM波段一样属于超短波，但AIR航空波段是调幅接收并且带宽只有25kHz。

该机的AIR航空波段天线信号和FM共用一个通道，在FM高频头内经四联调谐选频回路选频后由二极管构成的电子开关切换到调幅（AM）通道，耦合进入调幅第一次变频的平衡混频器上，跟AM接收一样，变频为55.845MHz的第一中频，经滤波、放大后再由TA2057进行第二次变频为455kHz的第二中频，在TA2057内完成中频放大、检波，检波后从18脚输出音频信号，经音频滤波后输入再回到17脚进行音频放大、静噪等处理，最后也是由12、13脚输出音频信号。

德生S-2000收音机 电路简析（二）

◎红色电波

4. SSB单边带接收

SSB单边带接收是接收单边带调幅的短波信号，在SSB单边带接收时，解调前高、中频信号处理和AM接收时一样的，在其进行第二中频放大后，此时TA2057的18脚输出的信号由其内部切换控制。当TA2057的2脚高电平时，18脚输出455kHz中频信号，此信号进入SSB解调（SSB DEMODER）组件。

SSB解调组件包括拍频振荡器（BFO OSC）、由场效应管构成的SSB解码器、音频低通滤波、放大以及SSB解调控制等。拍频振荡器产生453kHz的下边带拍频或457kHz的上边带拍频，拍频和由TA2057的18脚送来的455kHz的SSB信号一起进入SSB解码器进行SSB解调，输出的信号经低通滤波器滤除高频成分后得到解调的音频信号，经放大后输入到TA2057的17脚进行音频处理，最后再由12、13脚输出音频信号。

5. 锁相环（PLL）及其附属电路

S-2000收音机锁相环电路采用三洋的LC72137M芯片，其内部原理方框图如图7所示。LC72137M的1、2、3、4、8脚与MCU-S2000单片机进行通信：1脚是CE端，允许或禁止DI、DO与MCU-S2000的数据传送；2脚是DI端，接收MCU-S2000串行数据；3脚是CL端，串行数据传送时的同步时钟信号；4脚是DO端，输出串行数据给MCU-S2000，8脚是IO1端，在该机中是作为上边带（USB）、下边带（LSB）信号控制端。

LC72137的16脚是内部鉴相器输出端，输出的是调谐电压；19、20脚接75kHz基准时钟振荡器（产生PLL工作的基准频率）；12脚是收音机本振信号输入端，工作频率范围为10～160MHz，所输入的信号经过1/2分频、吞除计数、可编程分频后与基准频率一起进入鉴相器；11脚也属于本振输入端，不过11脚比12脚工作频率低。AM本振输入到11脚，FM本振输入到12脚；10脚是中频输入端，信号来自TA2057的9脚，是自动调谐电台时捕获电台的识别信号；其他的输入/输出端则用于控制收音机的一些工作状态，如：5脚的BO1输出端输出的是AM/FM切换电压（高电平时为AM波段，低电平时为FM波段），6脚的BO2则是MW（中波/长波）

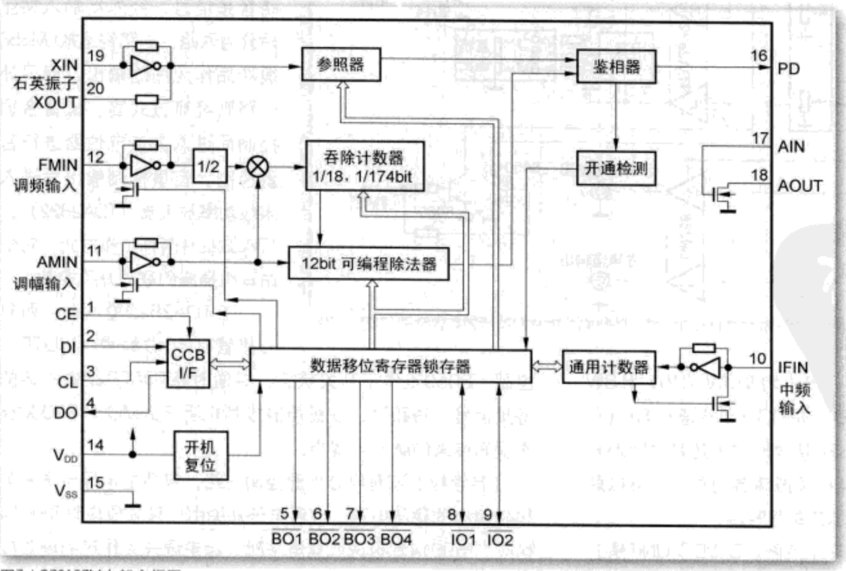


图7 LC72137M内部方框图

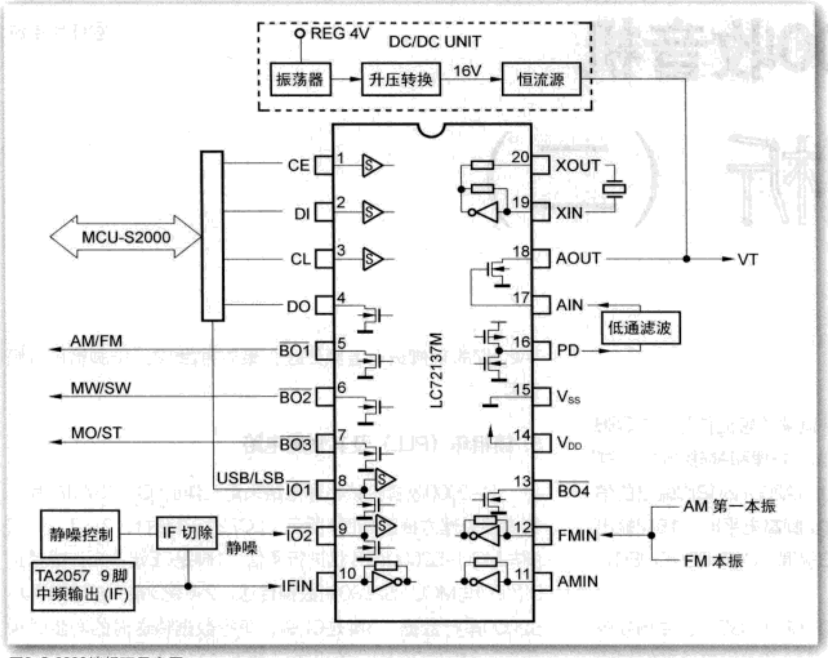


图8 S-2000锁相环示意图

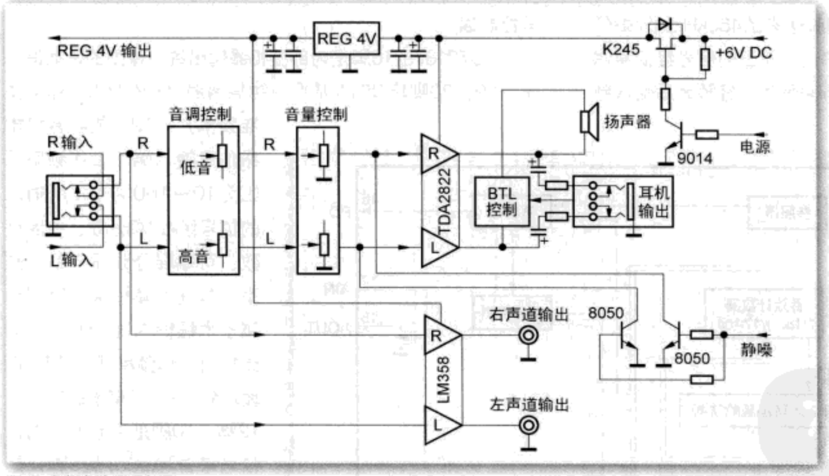


图10 音频电路原理框图

和SW（短波）切换电压输出端，用于切换MW（LW）和SW的两种不同的天线信号，7脚的BO3是MO（单声道）/ST（立体声）控制端、8脚的IO1是在SSB接收时对上边带（USB）和下边带（LSB）的切换，切换拍频振荡器的两个石英振荡晶体（473kHz/453kHz）、9脚的IO2是静噪端。

图8所示的是S-2000锁相环示意图，DC/DC UNIT是直流电压变换单元，其内部有一个工作于超声波频率的振荡器（OSC），产生超声交流电压，经变压器升压后整流、滤波，得到一个16V的电压，然后经场效应管构成恒流输出。

LC72137M的18脚是其内置的MOS管的输出端，DC/DC UNIT输出的恒流电压加到这个引脚上，17脚则是其输入端。鉴相器输出端（PD）输出的鉴相电压经锁相环低通滤波器滤波后输入到17脚，控制18脚与地线之间的导通程度，从而获得0～16V变化的调谐电压，控制收音机本机振荡的变容二极管的容量。

三 音频放大及输出部分

S-2000收音机的音频部分电路板如图9所示，其电路原理框图如图10所示。从收音机主板上的TA2057N的12脚、13脚输出的音频信号经静噪控制电路（SQUELCH）控制后输出左、右两个声道的音频信号到音频放大板。进入音频板的两路音频信号，经外接输入插座后分为两路：一路经运放LM358缓冲后作为线路输出，而另外一路则经衰减式高、低音音调控制后进入音量电位器进行音量控制。音量控制输出后进入末级功率放大器（TDA2822）。TDA2822有两种工作方式，它们由耳机插座的联动开关控制。

在TDA2822输入端，两只三极管8050做静噪（MUTE）控制，8050工作于开关状态，导通时将TDA2822输入端的音频信号“短路”，使扬声器或耳机听不到MCU-S2000操作瞬间传来的脉冲干扰声。

音频板上还有部分电源控制电路，包括主电源电子开关和4V输出的稳压电源。电源电子开关由一只场效应管和9014构成，当9014基极送入高电平时，起电源开关作用的场效应管G极接地，场效应管导通，则收音机开机，反之，则场效

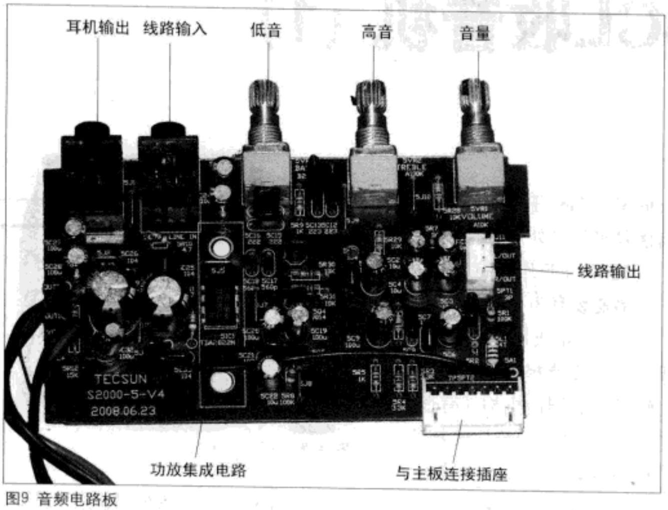


图9 音频电路板

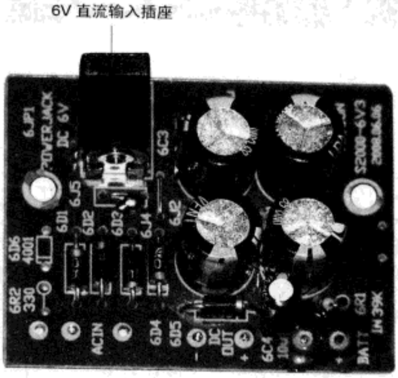


图12 电源部分电路板

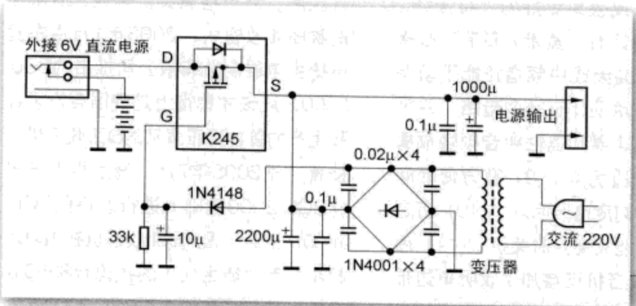


图11 电源部分电路图

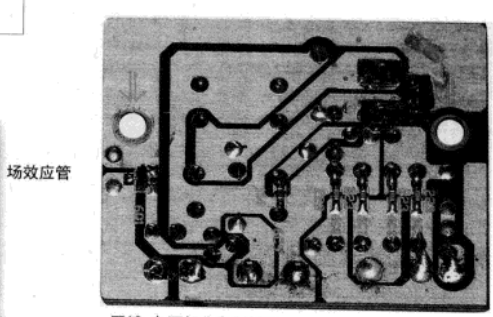
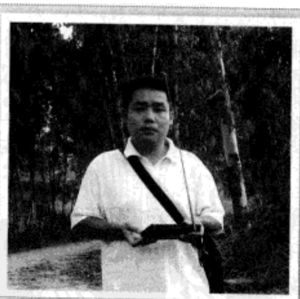


图13 电源部分印制板图

应管G极为高电平，场效应管关闭，则收音机关机；4V稳压电源则由一片线性稳压电源集成电路构成。

四 电源部分

S-2000收音机的电源部分电路如图11所示，其电源部分电路板如图12所示。外接输入电源和机内电池通过直流输入插座的联动机械开关进行切换。220V交流电压经变压器变压、二极管桥式整流、滤波后得到6V左右的直流电压，它跟外接电源/机内电池的切换则是通过一个贴片式的场效应开关管实现的，该场效应管的位置如图13所示。当220V交流插头接上电源时，交流电压经变压器次级、二极管半波整流、电解电容滤波后使场效应开关管的G极高电平，场效应管截止，收音机由交流供电；而当断开220V交流电源时，场效应管G极（栅极）经33kΩ的电阻接地而导通，接收机由机内电池或外接直流电源供电。



◇作者简介

本文作者“红色电波”是广东省梅州市的一名高中教师，从少年时就开始订阅《无线电》杂志并迷恋上电子制作和无线电广播接收，多年来他收藏各种型号的收音机并对这些收音机做了对比和研究。这次应《无线电》杂志约请为广大读者介绍目前流行收音机的特点和玩收音机的体会，有兴趣的读者也可以看看他开设了个人网站和“无线电爱好者园地”的论坛。

主页：http://www.hongsedianbo.net/

论坛：http://bbs.hongsedianbo.net/

根德牌S350型BCL收音机（1）

◎红色电波

BCL是Broad Cast Listener的简称，意思是“广播听众”。BCL收音机就是专门为广播爱好者设计的广播接收机。BCL收音机的兴起大约在二战结束后，当时有很多退役军用接收机散落于民间，这些退役军用接收机的优良接收性能深深吸引了广播爱好者，被他们用来收听广播和进行业余无线电通信活动，后来很多著名的收音机厂商，看到了这个商机，纷纷设计了一大批在外形上很像专业接收机的民用收音机产品，这些模仿专业接收机设计的收音机，以非常酷的外形、非常高的性能及比专业机更容易操作等优点而深受广播爱好者的欢迎，在日本，这类收音机被称为BCL收音机。

BCL收音机制造的顶峰时期是20世纪70年代，BCL收音机被誉为收音机中的精品，现在许多收音机爱好者所收藏的BCL收音机多数是那一时期的产物，如：索尼的ICF-5500、5800、5900、6800系列，松下的RF-1130、RF-2200、2800、4800系列，东芝的RP-2000F……还有日立、三洋等品牌的，在日本，几乎每一个著名收音机厂商都生产一个系列的BCL收音机，图1所示的是一些收音机爱好者收藏的日本BCL收音机。

BCL收音机相对于专业广播接收机和通信接收机除了外形相似、价格便宜外，还拥有以下几大特点：(1) 便携，一般都安装有为了方便携带的背带，以方便野外收听；(2) 多波段，高灵敏度、高选择性接收性能；(3) 有比较精密的调谐机构（有很多采用齿轮传动），频率指示比较精确。后期有些BCL收音机还采用了锁相环数字调谐技术；(4) 有接收信号强度指示表；(5) 带有多种外接天线接口，可接驳更长或效果更好的外接天线；(6) 中频设计有“宽带/窄带”选择电路；(7) 高频或中频增益能手动调节；(8) 音频设计有音调电路，并采用大口径扬声器和高性能音频功放播音，因此音质优美；(9) 有方便晚间野外收听的刻度盘照明灯；(10) 有定时器，至少能实现定时关机；(11) 后期的BCL收音机还增加了收听单边带(SSB) 业余无线电通信的功能。总之，称BCL收音机是广播爱好者的发烧产品一点不为过。

当年国内没有生产过类似的BCL收音机，但根据国防的需要，为驻守边防的部队集体收听中央广播而开发出一系列高灵敏度收音机，如熊猫B-11、春雷3T3、红灯733等，这些

图1a 索尼ICF–5500W

产品的外观上没有退役军机味，而且产量较小，价格较昂贵，因此极少流入民间。从严格意义上来说，它们不能称BCL收音机。2003年1月由东莞市德生电器制造有限公司推出的BCL-2000，应该才称得上是我国自行设计和生产的首台真正意义的BCL收音机。接着，于2005年7月，德生再次推出在BCL-2000基础上进行改良的BCL-3000！至此，国产BCL收音机在国内才起步，而由德生代工的根德牌S350收音机，其电路和构造与BCL-3000基本一样，本文重点介绍S350收音机的特点。

一 S350的主要性能

S350收音机的外形如图2所示，其主要性能有：（1）采用多功能微电脑芯片进行频率、时间、电池容量、接收信号强度显示，并实现定时开机、睡眠自动关机等功能；（2）收音电路主要由5块集成电路组成，具体型号如表1所示；（3）调频/调幅采用各自独立的可变电容器，其中FM采用了三联可变电容调谐电路，具有比较良好的灵敏度和选择性，同时FM还带有自动频率控制功能（AFC）；（4）设有75Ω的FM天线接口，可连接本地

图1b 东芝RP–2000F

图1c 松下RF–1130）

FM有线广播（CABLE FM）或外接室外天线进行FM远距离接收（FM DX），（5）短波接收频率覆盖3~28MHz，划分为（SW1/SW2/SW3）3个波段，调谐频率指示精度达到1kHz，并且安装有由德生自行开发的数控稳频电路，能保证收音机准确稳定在所接收频率上；（6）中波/短波可外接阻抗为500Ω的天线和地线，并且设置有低通滤波器（30MHz LPF），能良好地抑制收听地点附近强大的调频电台或甚高频通信信号对中波/短波接收的干扰；（7）具有独特的快速/慢速调谐机构，方便用户快速准确地选台；（8）采用5英寸优质扬声器和BTL音频功率放大器，设置有高音/低音音调电路，音质优美；（9）具有立体声电路输出，能连接音响放大器；（10）收音机工作状态和信息采用液晶显示屏（LCD）显示，液晶显示屏带有夜间照明灯；（11）采用外接直流电源和4节1号电池或4节5号电池多种供电方式；（12）带有长短可调整的背带，方便野外收听时携带。

二 S350电路特点及工作原理

图3所示的是S350收音机电路原理图，S350所采用的集成电路和晶体三极管比较多，其核心芯片是三洋的优秀收音机集成电路LA1260，电路以TA7358AP+LA1260+TA7343AP的三片机的形式为基本构架。

（一）S350中的集成电路和主要晶体三极管功能

本收音机的核心芯片2IC2，型号是LA1260。LA1260内含调频限幅中放、鉴频、音频缓冲放大、调谐指示驱动和调幅高放、混频、本振、中放、检波、AGC、调谐指示驱动等电路，其各引脚功能如表2所示：

调频调谐器则由2IC1担任，其型号是TA7358AP，内含射频放大、双平衡混频、本振及其缓冲放大等电路，芯片采用9脚单列塑封，其各引脚功能如表3所示。

2IC3则是锁相环调频立体声解调集成电路，型号为TA7343AP，其封装形式也是9脚单列塑封，其各引脚功能如表4所示。

IC2是由一块双运放构成的立体声音频电路信号放大器，放大输出的音频信号经由2C82、2C83、2C84、2C85以及2R54、2R55、2R56、2R57构成的RC补偿网络后，一路经JACK1输出为电路信号，另一路则进入由VR2、VR3等元件组成的音调电路，然后经音量电位器VR4输入到音频功率放大器IC4的第6脚、第7脚。

双运放IC2型号为LM358，其引脚功能如表5所示。音频功放IC3型号是

图2 S350外观图

表1 S350DL的5块主要集成电路

芯片型号	电路主要功能
TA7358AP	FM高放、变频
LA1260	FM中放、解调/调幅变频、中放、解调
TA7343AP	调频立体声解调
LM358	音频电路输出
TDA2822L	音频功率放大

表2 LA1260引脚功能

引脚号	功能简述	引脚号	功能简述
1	调频中放输入	9	调幅解调输出
2	调频限幅中放旁路	10	调幅中放输入
3	调频限幅中放旁路	11	自动增益控制（AGC）
4	地（GND）	12	调幅混频输出
5	调频鉴频（FM Q.D.）	13	调幅高频旁路
6	VCC电源	14	调幅高频输入
7	调谐指示（LED）输出	15	内部稳压输出
8	调频解调输出	16	调幅本振

表3 TA7358AP引脚功能

引脚号	功能简述	引脚号	功能简述
1	高频输入	6	混频输出
2	高频旁路	7	本机振荡监测端
3	高频输出	8	本机振荡
4	混频输入	9	VCC电源
5	地（GND）		

表4 TA7343AP引脚功能

引脚号	功能简述	引脚号	功能简述
1	立体声复合信号输入	6	立体声指示灯
2	锁相环低通滤波器	7	立体声/单声切换
3	VCC电源	8	左声道输出
4	压控振荡器（VCO）	9	右声道输出
5	地（GND）		

表5 LM358引脚功能

引脚号	功能简述	引脚号	功能简述
1	输出1	5	正相输入2
2	反相输入1	6	反相输入2
3	正相输入1	7	输出2
4	地（GND）	8	VCC电源

表6 TDA2822L引脚功能

引脚号	功能简述	引脚号	功能简述
1	输出1	5	反相输入2
2	VCC电源	6	正相输入2
3	输出2	7	正相输入1
4	地（GND）	8	反相输入1

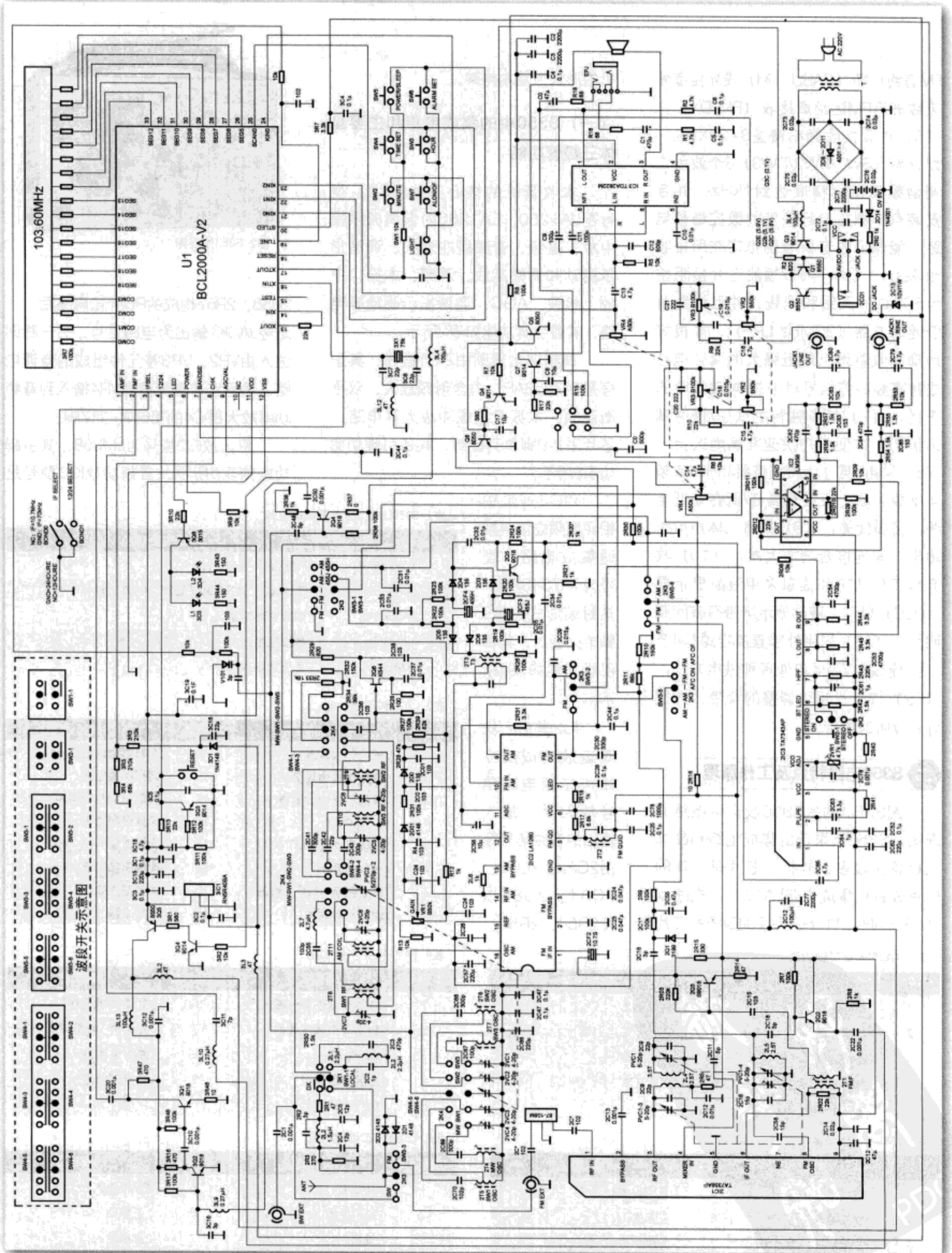


图3 S350电路图（图中元器件的符号与序号与原厂图相同）

表7 微处理器BCL2000A–V2引脚功能

引脚号	功能简述	引脚号	功能简述
1	调幅本振信号输入端	23	键盘矩阵
2	调频本振信号输入端	24	
3	调频中频设置（10.7MHz/70kHz）	25	
4	时间显示格式设置	26	LCD液晶屏驱动
5	液晶屏照明灯控制输出端	27	
6	电源控制输出端	28	
7	波段选择开关状态输入端	29	
8	电源电压检测端	30	
9	接收信号强度输入端（AGC电压）	31	
10	保留端口（本收音机未使用）	32	
11	电源（VDD）	33	
12	电源（VSS）	34	
13	晶振1（本机省略，接一个22kΩ电阻）	35	
14		36	
15	测试端	37	
16	晶振2（75kHz）	38	
17		39	
18	CPU复位端（低电平有效）	40	
19	自动稳频电路的调谐电压输出端	41	
20	立体声指示状态输入端	42	
21	键盘矩阵	43	
22		44	

TDA2822M，工作于立体声或BTL（桥式）模式，其引脚功能如表6所示。

3IC1（型号为RN5R40BA）是5V稳压芯片，为除了音频功放（IC3）外的其他芯片和晶体管提供工作电源。U1是接收频率等收音机工作信息和状态显示芯片，它是一片单片机，其型号为德生自行命名为BCL2000A-V2，芯片功能与BCL-2000基本是一样的，不过，在S350DL和BCL-3000收音机中，内部程序不相同，在S350DL和BCL-3000中增加了德生自行开发的中短波自动稳频电路程序，因此芯片的out口作了调整，如：BCL-2000中U1的第19脚为电源开关控制输出端，在S350DL和BCL-3000中则19脚被安排为自动稳频电路的调谐电压输出端，而电源控制端被安排在第6脚上了。U1在S350DL中的各引脚功能如表7所示。S350DL中各晶体三极管在电路中的作用如表8所示。

（二）S350中的一些特殊电路及工作原理

1. 调幅高频预放大电路

因电路采用一次变频设计，为提高调幅波段的灵敏度和选择性，使用了由一个型号为K544（2Q6）的单结场效应管构成的高频预放大，放置于调幅天线调谐回路与LA1260调幅高频输入端（14脚）之间，这样不但增强了整个调幅波段的高频增益，同时还有效地提升了调幅各波段天线调谐回路的*Q*值，使调幅各波段能获得比较高的选择性，短波段能比较好地抑制镜像频率干扰。

2. 调幅中频带宽选择电路

LA1260的12脚是调幅变频后的中频输出端，输出信号经中频变压器（2T3）耦合后进入由2CF3（455J）、2CF4（455H）以及2D3、2D4、2D5、2D6、2R19、2R20、2R22、2R23等元件构成的中频带宽选择电路，2CF3和2CF4是两种不同带宽的中频晶体滤波器，通过开关二极管的选通实现中频带宽切换。

3. 调幅中频增益手动控制电路

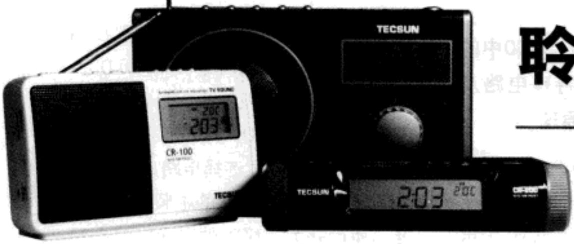
2D0以及2C0、2C1、2D01、VR1等则构成调幅中频增益调节电路，2D0阳极通过电阻偏置到1.8V左右，调节VR1，通过2D1和2R31调节2D0阴极电位，改变2D0的等效阻抗。2D0通过电容2C0、2C01等效并联于中频变压器（2T3）的初级端，2D0的阻抗变化使得2T3初级的谐振Q发生变化，从而改变调幅455kHz的中频增益。

4. 本振频率取样缓冲电路

LA1260的16脚为调幅本振端，电容2C48耦合到2Q4缓冲后，经电感3L9耦合到由3Q2和3Q1构成的调幅本振电路，经信号放大后输入到频率显示处理器U1的1脚，在U1内部完成整形、计数、模/数转换、去除中频、功能切换、显示驱动等处理。2Q2则是调频本振缓冲器，通过电容2C18取出

表8 晶体管列表

电路图编号	晶体管型号	功能
Q1、Q2	8550（PNP）	功放电源开关
Q3	9014（NPN）	功放电源开关驱动
Q4	9014（NPN）	开机静噪
Q5、Q6	8050（NPN）	音频静噪开关
Q7	9014（NPN）	功放工作模式切换（BTL工作模式/立体声工作模式）
2Q2	9018（NPN）	调频本振取样缓冲
2Q3	9018（NPN）	调频中频预放大
2Q4	9018（NPN）	调幅本振取样缓冲
2Q5	9018（NPN）	调幅中频放大，用于补偿带宽选择电路的中频损耗
2Q6	K544（JET）	调幅高频预放大
3Q1、3Q2	9018（NPN）	调幅本振信号放大
3Q3	9014（NPN）	CPU开机复位
3Q4	9014（NPN）	5V电源开关驱动
3Q5	8550（PNP）	5V电源开关，提供收音机中高频电路工作电源
3Q6	9015（PNP）	液晶屏照明灯（LED）驱动



聆听“画面”别有精彩

——三款数字调谐电视伴音收音机横向对比

◎黄平

电视伴音收音机是用来“听”电视的，为不方便“看”电视节目的人群提供了便利。大家也许还记得TCL公司曾经推出广受好评“单独听”系列电视机，其实就是具备关闭画面只收听伴音功能的电视机。国内外调查表明：长期面对电视机，容易形成“电视成瘾症”和“电视孤独症”，但只听伴音则没有上述问题。在一些电视普及率很高的国家几年前就开始大量生产具备电视伴音接收功能的收音机，从而引导人们多“听”、少看电视节目。

我国电视节目的传输制式为PAL-D，其发射频段、频率和传播方式见表1。

表1 电视节目发射频段、频道和传播方式一览表

频段		频道	传播方式
VHF	VHF-L	1~5	开路发射（无线传输）/闭路传输（有线传输）
	VHF-H	6~12	
UHF		13~68	
有线电视增补	A1	Z-1~ Z-7	闭路传输（有线传输）
	A2	Z-8~ Z-16	
	B	Z-17~ Z-38	

目前，市面上的电视伴音收音机分为两大类，即模拟调谐电视伴音收音机和数字调谐电视伴音收音机。

在模拟调谐电视伴音收音机中能接收VHF频段2~5频道的常见机型有德生（TECSUN）R-201T、R-202T、R-212T、R-303、R-303D；德劲（DEGEN）DE392、DE390、DE306等，能接收VHF频段1~12频道的常见机型有：德生R-213T、R-305、R-909TV、R-1012；德劲DE393等。

在数字调谐电视伴音收音机中能接收VHF频段1~12频道和部分有线电视增补频道的机型有德生CR-100、CR-200，能接收几近所有频段和增补频段的机型有德生CR-1000。

数字调谐电视伴音收音机在调谐精度、存储电台和使用便利上具有得天独厚的优势，所以笔者对德生CR-100、CR-200、CR-1000三款收音机进

TA7358AP的8脚的调频本振信号。在2Q2缓冲后，经3L10、3C11输入到U1的2脚进行频率显示处理。

5．调幅稳频电路

收音机本振频率因受温度等因素的影响，均会出现频率漂移现象，收音机在制造时，电路上往往要采取一些补偿措施和选用温度特性较稳定的元件进行生产。尽管如此，一般收音机几千赫兹的频率漂移依然存在。S350调幅频率显示精确到1kHz，因此，为了使频率显示器能稳定显示接收频率，同时也为了更好地改善S350的接收稳定性，德生进行了行之有效的稳频措施：当调谐到某一接收频率并保持3秒钟时间不变化时，程序即把这一频率作为“基准”频率。由U1的1脚送入的调幅本振，经过“模/数”转换后得到本振频率的数字信号，这一信号是实时的，程序把这一信号跟“基准”频率进行相减运算，将得到的差值进行“数/模”转换，经平滑滤波后得到一个直流信号，这一直流信号即代表着本振频率的漂移程度，把这一直流信号倒相后由U1的19脚输出，去控制并联在LA1260的16脚上的变容二极管（V101），改变变容二极管的电容量，从而修改本振频率，使本振频率与“基准”频率的差值为零，这样，本振频率就被锁定在用户所接收的频率上，有效地解决了收音机本振频率漂移的问题。

6．晶体管构成的电源开关

S350采用微处理器控制收音机电源。开机时，U1的6脚输出高电平，一路使得由3Q4（9014）、3Q5（8550）构成的电源开关导通、5V稳压电源供给收音机中、高频电路工作；另一路则是使由Q1、Q2、Q3构成的功放电源开关也导通，给功放集成电路提供工作电源。Q1和Q2两管并联，以增大开关管的输出电流。关机时，因U1的6脚输出低电平，使3Q4、3Q5、Q1、Q2、Q3截止，关断收音机各部分电路工作电源，而U1则进入低功耗守候状态。

另外，开机时，U1的6脚输出的高电平，使Q4导通，这时C17通过560Ω的电阻放电。当C17两端电压约低于0.7V时，由Q5、Q6构成的静噪电路截止，音频信号加入到功放TDA2822L的6、7脚，使收音机进入正常工作状态，这部分属于静噪延时电路，用以消除开机时扬声器的冲击声。

行横向评测，供电视伴音收音机爱好者参考。

一 外观、体积和工艺对比

从三款收音机的外观（见题图）可以很明显地看出，虽然它们大小不一，但都为小台式设计，是定位于室内使用的收音机。三款机器外观工艺较好：面板平滑、接缝无毛刺、标识印刷牢固、显示屏可视角度较大、背光柔和均匀。但从精益求精的角度来说，CR-100按键手感偏硬，齿轮状调谐旋钮过于尖锐；CR-200的调谐轮有一些偏心，旋转时会和周围面板摩擦；CR-1000的天线底部转轴过松，斜拉时容易下垂。虽然近几年来国内产品已经开始注重细节，但仍需加强。这三款机器的基本情况对比见表2。

二 接收范围对比

三机均可接收中波，频率为522～1620kHz，步进9kHz；均可接收调频立体声，频率为87～108MHz或70～108MHz任选，步进0.1MHz。

三机的接收范围区别在于电视伴音的频道数量：CR-100、CR-200可以收到VHF频段1～12频道和增补频段Z-1～Z-7频道，共计19个频道空间。而CR-1000可以收到VHF、UHF频段1～57频道和增补频段Z-1～Z-38频道，共计95个频道空间。简而言之，不管哪种传输方式、不管哪个频道伴音，CR-1000几乎可以接收所有的电视频道节目。三款收音机接收范围见表3。

三 接收效果对比

从总体上看，电视伴音收音机立足于“收得全”，当然如果想用它们来做BCL（超远程接收），那恐怕会令您失望，因为“收得远”并非电视伴音收音机的强项，上文已经提及的这三部收音机本来就是用于家庭室内使用。笔者在这里用德生同时代推出的数字调谐收音机PL-550（见图1）作为“标杆”，PL-550具备中波、短波、调频接收功能，拿PL-550与它们对比，只是便于给出对比结果，使读者对这三款收音机的接收效果有一个相对准确的感受。下面的评价是在以PL-550为标准的框架下所得出的个人结论，评价结果分为5个档次：好、较好、一般、较差、差。

1. 中波灵敏度

图1 德生PL-550

CR-100的中波灵敏度一般，能很好地接收强台和中等强度的电台，但接收弱台时底噪比较严重，CR-200中波灵敏度较差，由于使用220V交流电，难免受到电源线的束缚，所以也懒得通过改变收音机的摆放方向来取得最佳接收效果， CR-1000拥有最大的体积，有条件使用较长的中波磁棒天线，照道理来说，中波接收应该是最佳，但在实际比试中，仍然不敌体积小很多的PL-550，当然与CR-100、CR-200相比，那是有一定优势的。

2. 调频灵敏度

CR-100、CR-200、CR-1000调频灵敏度的对比结果和中波对比结果相似。CR-100的调频灵敏度也一般，本地电台收得不错，还收到两个周边城市的电台；CR-200调频灵敏度较差，接收本地调频台效果尚可，但接收临近县市的电台就力不从心了——这是由于CR-200定位于“纯居家使用”，所以使用了软天线设计，以利于机器外观和居家环境的协调，但这种软天线设计也是造成调频接收灵敏度不理想的主要原因。CR-1000的调频灵敏度明显好于CR-100、CR-200，和PL-550比较接近。

3. 电视伴音灵敏度

在笔者所在地，电视信号的发射强度普遍比调频广播大一些，所以CR-100、CR-1000都能很好地接收开路发射（无线传输）的电视伴音信号，CR-200经多次调整软天线的位置，也能实

表2 CR-100、CR-200、CR-1000外观、体积、使用电源的对比

项目 / 型号	外观与款式	尺寸（cm）	可选颜色	电源	外接直流电源
CR-100	小台式、横版立式	18.4×10.7×5.9	白、黑、黄	1号电池×2	✓
CR-200	小台式、横版卧式	19.4×5.3×14.4	黑	220V交流电（见备注）	×
CR-1000	小台式、横版立式	24.8×14.8×6.3	黑	1号电池×4	✓
备注：CR-200另需5号电池×2为机内时钟提供备用电源，在供电情况良好的地区可不用					

表3 CR-100、CR-200、CR-1000接收范围对比

接收范围 / 型号	中波	调频	电视伴音 VHF频段（1～12频道）	电视伴音 UHF频段（13～68频道）	电视伴音 增补频段 A1（Z-1～Z-7频道）	电视伴音 增补频段 A2（Z-8～Z-16频道）	电视伴音 增补频段 B（Z-17～Z-38频道）
CR-100	✓	✓	✓	×	✓	×	×
CR-200	✓	✓	✓	×	✓	×	×
CR-1000	✓	✓	✓	✓（见备注）	✓	✓	✓
备注：在UHF频段，CR-1000实际设计为接收13～57频道							

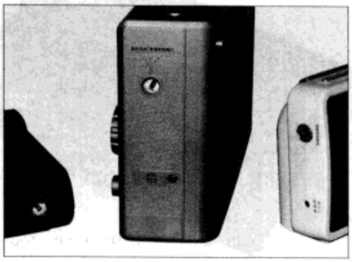


图2 3款收音机的外接天线插口

现良好接收。对于闭路发射（有线传输）的电视节目伴音，笔者使用场强仪配合测试，即使是最低的信号，场强也在26dBu以上，信噪比均在20dB以上，此时接收有线电视伴音信号（见图2），效果当然更不在话下。

4. 扬声器音质

CR-100的扬声器音质一般，洪亮清晰是优点，但整体音色有些发干，CR-200音色浓郁，低音的下潜深了一些，中音也比较圆润，CR-1000由于使用同轴位置高、低音双扬声器设计，低中音扬声器直径达4英寸（见图3），再配合音调调整功能，整体音色表现为低音略有弹性，中音相当亲切，高音比较细腻，有一种小型音响的味道，CR-1000的扬声器音质毫无悬念地位列第一。

5. 耳机音质

笔者使用森海塞尔PX100进行试

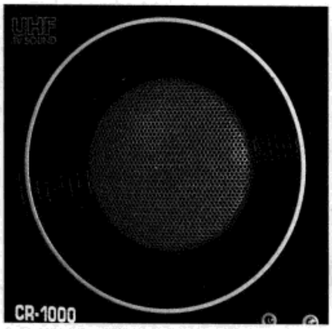


图3 德生CR-1000收音机的中低音扬声器

听，CR-100的耳机音质一般，谈不上印象深刻，但也没什么大的问题；CR-200由于使用机内变压器，耳机输出有一股轻微的“哼”声底噪，让人感到有些不爽；CR-1000的耳机输出声底干净，音乐味比较浓，平衡度不错。

三机的接收效果对比见表4。

四 其他功能对比

1. 共同功能

三机都具备自动、手动和ATS搜台功能；支持电台浏览和自动/手动存台，存储的电台可转移、可删除；能设置定时关机时间和两个定时开机时间，可显示室温等。

2. 独具功能

CR-200具备线路输入设计，可以当有源音箱使用；具有5V直流输出的USB

表4 CR–100、CR–200、CR–1000接收效果对比

内容 型号	中波接收 灵敏度	调频接收 灵敏度	开路电视伴音 接收灵敏度	闭路电视伴音 接收灵敏度	扬声器音质	耳机音质
CR–100	一般	一般	好	好	一般	较好
CR–200	较差	较差	好	好	较好	一般
CR–1000	较好	较好	好	好	好	好
备注：灵敏度和选择性是一对互相制约的指标，家用电视伴音收音机灵敏度相对不很高，基本上没有临频干扰现象，故无必要进行选择性对比						

表5 CR–100、CR–200、CR–1000的特色功能

功能 型号	可存储电台数	常听电台快捷键	线路输入	USB接口5V直流输出
CR–100	100	×	×	×
CR–200	100	×	√	√
CR–1000	200	5个	√	×

图4 德生CR–1000收音机常听台快捷键

接口，可接驳MP3、手机等为其充电。

CR-1000具有200个频率存储，是其他款收音机的2倍，还设置5个常听电台快捷键（见图4），方便日常使用；同样具有线路输入设计，可当有源音箱。

CR-100、CR-200、CR-1000的特色功能见表5。

总结 尽管数字电视已开始普及，但由于我国地域辽阔，地形复杂，各地区经济发展水平差异较大，所以模拟电视信号传播在目前及今后几年内还将与数字电视信号传播并行，直至2015年停播。从目前的情况来看，即使在最发达的地区，模拟电视和有线电视广播信号只是在数量上有所减少，还没有完全退出电视传播阵地。模拟电视信号的现存情况决定了电视伴音收音机的存在价值。就这个意义上说，只要模拟电视信号传输一天，电视伴音收音机就会存在一天。那么以上三款中该选哪一款呢？如果您看腻了收音机非黑即白的色调，想换部颜色鲜艳的，而且对接收效果比较讲究，CR-100正好可以满足您的要求，其中黄色的那一款是公认地可爱。如果您想买一部外形美观、小巧且功能丰富的，笔者推荐CR-200，它独具的充电功能确实给生活带来很大方便。如果您想要一部接收频道尽可能齐全、音质优美的，CR-1000则是不二之选，它对所有的电视伴音几乎可以“一网打尽”……到底选什么？一句话：没有最好的，能选最适合的。

根德牌S350型BCL收音机（2）

◎红色电波

三 S350实物剖析

1. S350的拆卸

S350机壳为前开盖结构，从收音机背面拧下6颗固定螺丝后，前盖稍微一撬就能打开。除扬声器安装在前盖上外，电路板等其他部分均安装于底盒上，打开前盖后的S350如图4所示。

S350 的全部电路安装在 3 块不同大小的电路板上，即：(1) 由微处理器 U1 为主构成收音机控制板；(2) 以 TA7358AP+LA1260+TA7343zAP 三片集成电路为架构构成的收音主板；(3) TDA2822L 为主构成功放的音频电路板。

焊下扬声器的接线，取下控制板后即可看到收音机调谐拉线轮，如图5所示。S350使用双可变电容，一个用于调频选台，一个用于调幅选台。

拧下两颗调谐轮中心的固定螺丝以及调谐轴固定塑料板的6颗螺丝，取下调谐轴固定塑料板即可看到收音主板，如图6所示。

拧下固定收音主板及音频板的固定螺丝，再用电烙铁焊下连接电池夹以及拉杆天线的几根导线，收音主板和音频板即可拆卸下来。

2. 三大电路板

S350采用分板布件工艺，各板划分合理，这不但充分利用了机壳空间，缩小收音机体积，更重要的是能有效地降低收音机各部分电路之间的相互干扰，有利于收音机获得比较高的工作性能。下面以图示方式介绍S350的电路安装工艺。

(1) 控制板：控制板采用双面板，见图 7，大面积覆铜地线，背面有大面积屏蔽罩，见图 8。微处理器为扁平软封装，为方便生产时安装，预先将其固定于一小方块的基板上，控制板与收音主板以及音频板之间采用排线插接，见图 9。

(2) 收音主板：收音主板元件多，电路工作时信号复杂，因此收音主板的电路板设计非常重要，合理的布件能直接提高收音机的工作性能。S350 收音主板也是采用双面板两面布线，LA1260 布置在两只波段选择开关之间，巧妙地利用两个波段开关的外壳进行屏蔽，有利于提高 LA1260 的稳定性，具体分解的电路板如图 10~ 图 12 所示。

(3) 音频板：音频板为单面板，

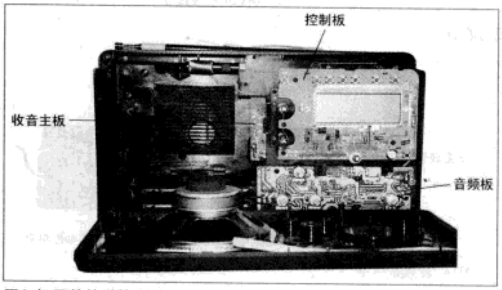


图4 打开前盖后的S350

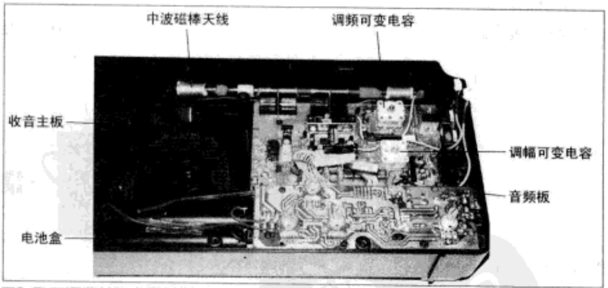


图6 取下调谐轴固定塑料板后

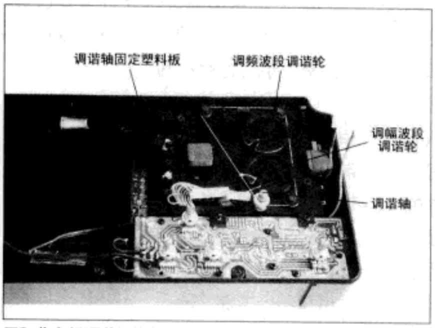


图5 收音机调谐拉线轮

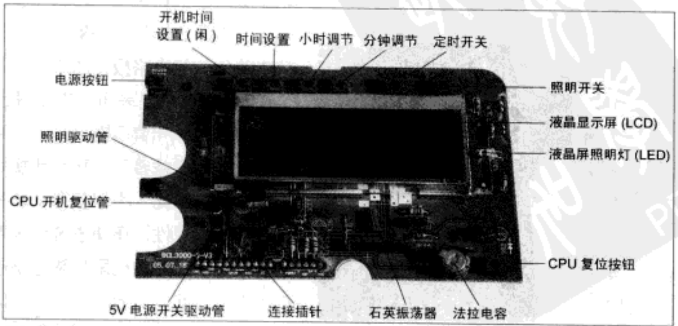


图7 控制板正面

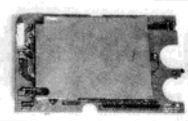


图8 控制板背面

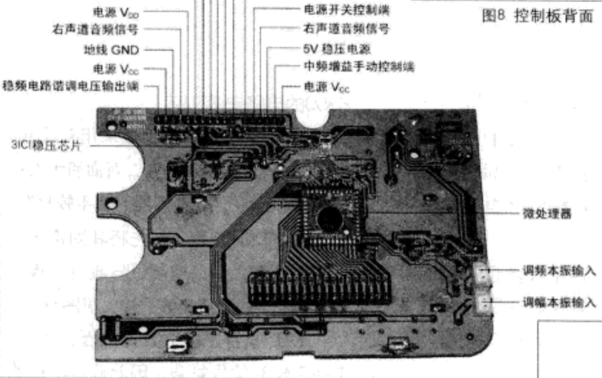


图9 取下控制板背面屏蔽罩后

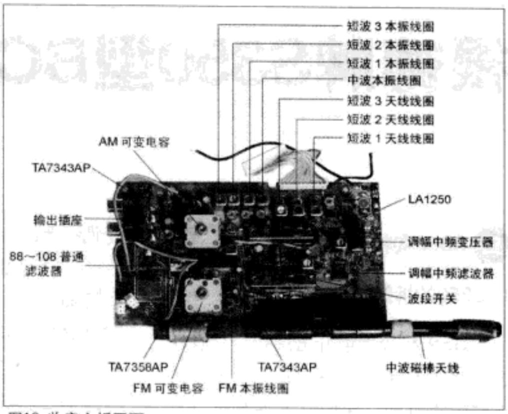


图10 收音主板正面

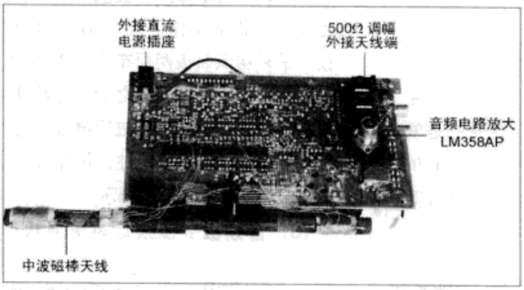


图11 收音主板背面

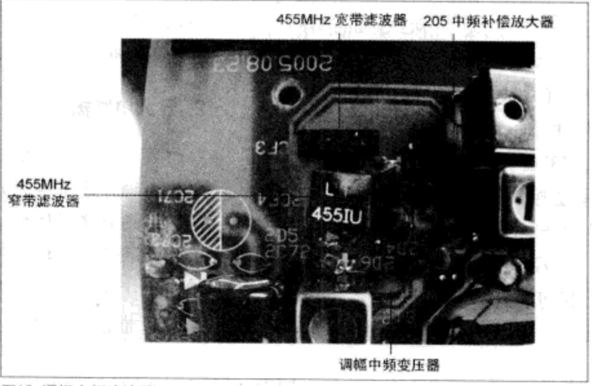


图12 调幅中频滤波器

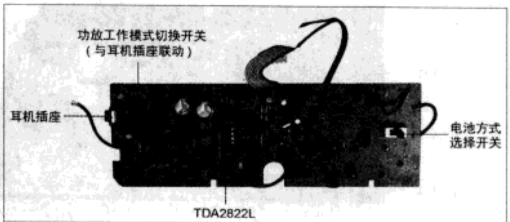


图13 音频板正面

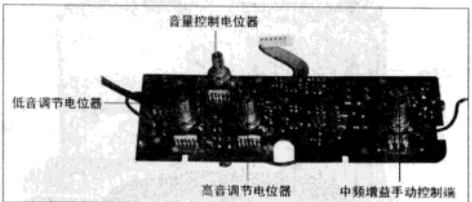


图14 音频板背面

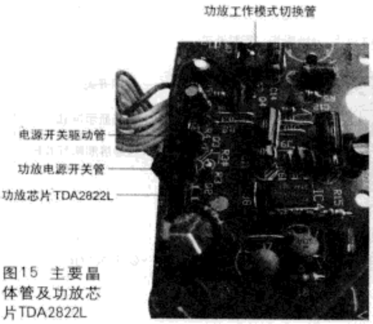


图15 主要晶体管及功放芯片TDA2822L

功率放大、音调控制、音量控制、耳机输出、电源选择等电路集于一板，这部分电路的分解电路板见图 13 ~图 15。

S350虽然是采用一次变频设计，但其电路上采用高Q值滤波器，并从收音机的总体增益着手，巧妙地规划好各级增益量，因此，不但获得了非常高的灵敏度、选择性，还使收音机有着极高的稳定性。此外该机采用微电脑芯片进行频率、时间、电池容量、接收信号强度显示，不仅使收音机具有了时代特点，也便于生产和调试，对提高收音机的总体性能也是有利的。

不足之处是 S350 没有采用数字锁相调谐，依然是通过可变电容拉线式调谐，这在现今的电子技术条件下显得比较落后，当然也可以从另外的角度去理解该产品的价值。还有，作为 BCL 收音机，S350 没有带单边带解调（SSB），这也是一个遗憾。

耳听为实

——为收音机选配一款入门耳塞

◎黄平

耳塞是收音机的重要配件，有不少人喜欢佩戴耳塞来收听节目，因为耳塞除了具有不干扰他人的优点，还具有佩戴清爽和携带方便的长处。纵观国内收音机产家，由于受总体成本的制约，随机配送的耳塞普遍存在音质较差的问题。本文就当前市面上容易买到的低价耳塞进行实听对比，帮助收音机爱好者选择一款适合自己的入门耳塞。

一 常见耳塞浏览

SENNHEISER（森海塞尔）MX400III

说到MX400 Ⅲ，有必要提一下MX500。MX500曾经获得英国权威杂志《What Hi-Fi》五星级评价。MX500、MX400和MX300曾是森海塞尔有名的“三驾马车”，但近年来随着MX300停产，MX400担任了主攻低端市场的角色，MX500则主攻中端市场。现市面上最常见的的MX400为第三代产品，所以包装盒上的标识为“MX400 Ⅲ”（图1）。

KOSS（高斯）KEB/4bk

市场上对这一款耳塞评价甚少，我把它拉进评测队伍，只因为高斯是美国品牌。在Hi-Fi领域，高斯耳机以特有的“低频汹涌，活泼奔放，声底醇厚，气势十足”的典型“美国声”，赢得很多发烧友的喜欢（图2）。

SONY（索尼）MDR-E828LP

一提起索尼的“MDR E8”系列，在烧友圈中恐怕尽人皆知，从最低端型号的E808到旗舰型号的E888，每个型号和相应的价格都搭配得很有吸引力，让消费者欲罢不能，我们不得不佩服索尼对市场的把握。E828LP比E808稍高一个档次，但和E808一样同属入门级别（图3）。

AUDIO-TECHNICA（铁三角）ATH-C502

“铁三角”这个品牌对国人来说，其名气远不如索尼、松下。但实际上在Hi-Fi领域，铁三角拥有非常好的口碑，很多大型或专业的场所，都选用了铁三角产品，如盐湖城冬奥会等。ATH-C502和ATH-C602同为铁三角最低端产品，两者的主要差别在于ATH-C502低音浓郁些而ATH-C602高音灿烂些。

在测试之前，先把一些基本数据列表对比如下，便于读者从整体上作一个大致的了解。

二 对比平台

笔者选用了索尼ICF-SW7600GR便携式收音机作为音源，选择本地FM强台作为声源，把收音机上的音质选择开关置于“MUSIC”挡，再用爱华V14银色导管耳塞作为“参照标杆”（图4）。

索尼ICF-SW7600GR是经典三大便携机中的翘楚，它的扬声器音质比较沉闷，但耳机输出音质很好，低音不缺不过，中音自然真实，高音如水晶般清澈。尤其是本底噪声很低，节目背景显得异常宁静。

把ICF-SW7600GR的音质选择开关置于“MUSIC”挡，连接频谱显示

品牌型号 \ 对比内容	阻抗（Ω）	频响(Hz)	灵敏度（dB/mW）	3.5mm插头形状	导线最长度（M）	L/R导线	是否带耳棉	是否带卷线盒	防伪方式
森海塞尔MX400III（欧洲品牌）	32	18～20000	无标称	直插	1.2	不等长	是	否	锦艺代理电话短信防伪
高斯KEB/4bk（美国品牌）	32	60～20000	无标称	弯插	1.2	等长	否	是	安润代理无防伪
索尼MDR-E828LP（日本品牌）	16	12～22000	108	弯插	1.0	等长	是	是	上海索广激光防伪
铁三角ATH-C502（日本品牌）	16	15～24000	104	弯插	1.2	不等长	否	否	德讯代理电话防伪

器，当接收调频白噪声时，显示器上各频点信号强度几乎相同。可见，ICF-SW7600GR的“MUSIC”挡即“直通”设计。

爱华V14银色导管耳塞是当年爱华中低档次“小宝贝”的标配耳塞，整体效果相当不错。当年，爱华在随身听领域能和索尼抗衡，此耳塞功不可没。V14整体音色略为偏暖，除低音轮廓比较模糊外，没有明显缺点，是一款在各方面都比较均衡的耳塞。

测试方法为现场收听。应该说，这种方法有点不足，就是每只耳塞收听的内容各不相同。笔者曾经用CD+无线信号转发器发射调频信号，然后用收音机接收，企图借此选择同一首歌曲进行反复收听对比，但用收音机收听时，却发现音质和电台播出相差甚远，看来转发器和广播电台的调制指标大有不同。

三 对比结果

对比内容可分为低音、人声、高音和整体感觉。至于Hi-Fi界言必称的定位感、声场等不列入考评范围。因为不论从音源和终端来看，以便携式收音机为核心的硬件平台都无法胜任此类测试。

低音对比

MX400Ⅲ：显示出阳刚之气，鼓点清晰，很有气势但又不拖泥带水。整个低音部如潮水般起落，听起来让人感觉低气十足，但过于直白一些。

KEB/4bk：如果说绝大多数耳塞的低频是随着频率的降低而慢慢衰减，KEB/4bk的低音则让人感觉在某个频率以下被一刀切断，鼓声犹如敲木头，泛音更是少得可怜，让听者感到又干又涩。

MDR-E828LP：低音的风格和MX400Ⅲ相比，是另外一种味道。下潜深，弹跳感适中。论瞬态冲击力不如MX400Ⅲ，但始终有一种温暖的包围感，但由于“量”偏多了些，所以还是有些震耳。

ATH-C502：下潜不错，虽然不如MDR-E828LP，但“量”的把握相当精准，弹性也很明显。只可惜泛音尚缺了那么一点点，“蓬蓬”的声音有时让人略觉头涨，当然并不明显。

低音听感对比结果：MX400Ⅲ、MDR-E828LP、ATH-C502各有特色，KEB/4bk明显较差。

人声对比

MX400Ⅲ：男声有板有眼，说话口齿清楚并且很有底气，但女声少了几分柔情，特别是女声的齿音，处于人耳最敏感的频率，在MX400Ⅲ上的听感明显过强，造成整体音色偏硬。

KEB/4bk：男声有变调感，听起来会有一点毛骨悚然。女声也偏尖，基音全无，让人感觉很难受。

MDR-E828LP：男女声总体尚可，略微偏甜，语气平缓亲切，有一些娓娓动听，但后缩现象比较严重，总感觉播音员离你很远。另外也存在人声“发干”情况，即唇齿音不够丰富，没有气息。

ATH-C502：男女声非常亲切。特别是女声，柔、甜、嗲，就像主持人在你耳边，娓娓动听地诉说，男声也多了几分脂粉气，少了一些阳刚。这种音质取向一开始非常吸引人，久了会给人不真实的印象，不喜欢这种人声的烧友称之为“妖声”。

人声听感对比结果：MX400Ⅲ和ATH-C502风格相反，MDR-E828LP略逊一筹，KEB/4bk更差一些。

高音对比

MX400Ⅲ：延伸得不错，也有冲击力。不同乐器的线条比较清晰，但粗糙了一点。整体高音音质属于“硬朗”的风格。

KEB/4bk：犹如清汤那样，净、薄、少。也有类似低音的“切断”感，好像到了一定的频率后就完全没有了。当然如果听一些简单的乐曲演奏，很有一种特殊的、清淡的味道。

MDR-E828LP：大失索尼一贯的高音甜美的特点！一是频响上不去。二是细而不滑，要仔细倾听才可感受到若有若无的份量。三是分辨率很低，明显感觉乐器“少”了几样。

ATH-C502：比较细腻，但还称不上甜润，解析力相当高，但缺乏一种感情。分辨率中等，与“原汁原味”的音质对比，乐器的声音有一些“变型”。

高音听感对比结果：ATH-C502

图1

图2

图3

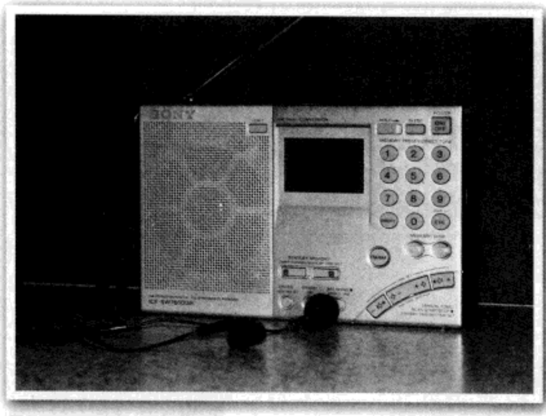


图4

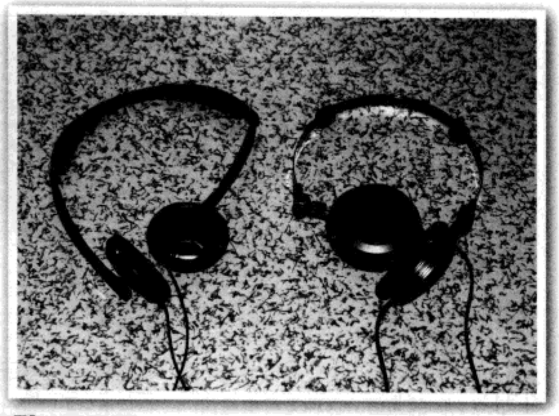


图5

略为占优，MX400 Ⅲ 紧随其后，MDR-E828LP令人大失所望， KEB/4bk除了清淡之外别无优点。

总体结论： MX400 Ⅲ 的优点在于气势和均衡，但解析力差强人意。KEB/4bk徒有高斯的名声，几乎找不到明显的亮点，特别是掐头去尾的“电话”声让人难以接受。MDR-E828LP虽然拥有“索尼”的金字招牌，但盛名之下，其实难副，尤其是整体发木的音色湮没了低频的出色表现。ATH-C502则没有什么明显缺点，各项听感都不错，但是声音偏甜，久听发腻。

如果您喜欢直白的声音，个人推荐MX400 Ⅲ，如果您喜欢柔美的气息，可考虑ATH-C502。笔者也把这两款耳塞用于国货德生牌和德劲牌收音机：使用MX400 Ⅲ，能和德生简洁明快的声音特色相得益彰，使用ATH-C502，能和德劲细腻浓郁的音质特点相映成趣。

四 购买要诀

以上4款耳塞的网络最低价位都在50元上下，如果遇见特别便宜的，反而要小心。

这4款耳塞中，MX400 Ⅲ 的假货最多，其中有所谓的“老版”、“丰达原厂振膜版”、“散装版”、“OEM版”、“港版”等不一而足，最容易骗人的是一种假冒的“锦艺版”。目前真品“锦艺版”的防伪电话是800-810-3155或010-64440315，防伪短信是33156（移动）93316（联通），假冒“锦艺版”上的防伪电话或短信电话为私人手机号。如果选择网购，一定要把防伪电话号码或短信号码问清楚。

MDR-E828LP则有两种包装，区别在于纸张印刷的内容和色彩有所区别，但两种包装都带有激光防伪标识！有些卖家声称泰国或马来西亚生产的MDR-E828LP没有防伪标识，但这种说法毫无根据。

ATH-C502的假货主要是“白版”，就是山寨厂仿了个外壳，又怕商标印得不像，就干脆不打商标，对外谎称是“出口余单”之类，欺骗消费者。正规渠道的铁三角基本上是通过德讯公司代理销售的，购买时认准德讯公司加贴在包装盒上的保修卡和防伪电话即可。其实，只要不贪便宜，就能大大减少买到假货的可能。

五 使用窍门

一般耳塞都配有耳棉。它的作用除了防止异物进入耳塞振膜外，还是增强低音，柔化高音的作用，您可以根据个人选择使用。

如果耳塞背后有空气导管的，用棉花全部或部分塞住空气导管的出口，也可以改变音色，您可以自行一试。

很多人说耳塞是听力杀手，但笔者有不同的看法：高分贝的声音才是损伤听力的罪魁祸首，和这个声音是由谁发出来的无关。使用耳塞，关键在于不能把音量开得太大。在嘈杂的环境中，为了听清楚广播而开大音量，那才是对听力的摧残。所以用耳塞听收音机要注意在相对安静的地方。

总之，在入门价位上选耳塞，可以找到一些基本满意的品牌，但一分钱一分货是颠扑不破的真理，不要企图在这个价位上找到各方面都完美的产品，更上一档次的耳塞均在百元以上。如果对本文作推荐的耳塞均不满意，建议选择森海塞尔PX100折叠式耳机。森海塞尔PX100和AKG（爱科技）K24P同获《What Hi-Fi》五星级大奖，两者价格均在200元左右。笔者曾经仔细对比过，发现森海塞尔 PX100更适合收音机，而爱科技K24P更适合MP3（图5）。

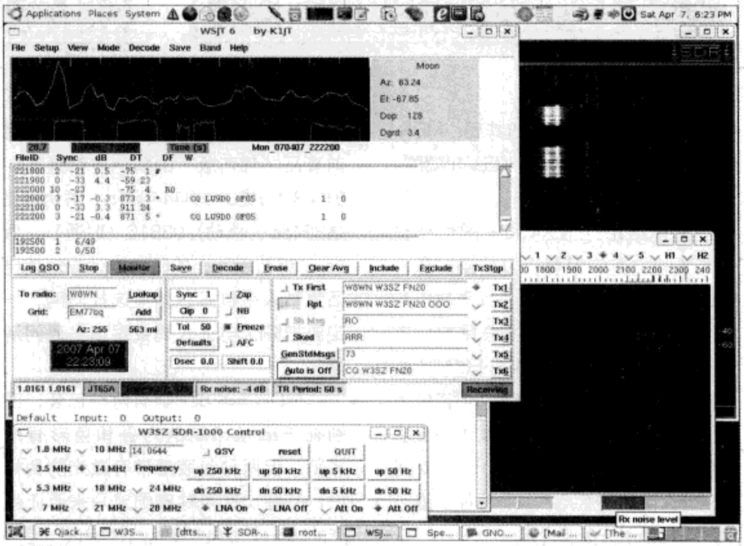
最后，祝收音机爱好者在夜深人静的时候用喜欢的耳机享受广播，享受生活。

走近EME通信试验 上篇

◎吴国光（BA7IA）

利用月球表面反射电波进行地球两点之间的通信，这种无线电通信方式称为月面反射通信（Earth-Moon-Earth，地球-月球-地球通信）简称EME通信。EME通信主要的挑战在于需要运用各种技术措施来克服在地球-月球-地球传输路径上大自然带来的种种困难，因此，作为深空通信的第一步，一直以来都吸引很多业余无线电爱好者去尝试、研究和探索。

经过不断地改进设备器材，采用先进的数字调制方式和信号处理方法，逐步提高EME通信联络的成功率。2007年10月24日我国首颗月球探测卫星“嫦娥一号”升入太空，奔向探索月球的旅程，这一壮举极大地激发起我国业余无线电爱好者对月球探索的热情，吸引着更多的人投入到EME通信活动中去。



WSJT界面

WSJT软件让EME走近爱好者

EME这种通信方式一直以来都是以CW和SSB作为主要通信模式，这两种极其依赖操作员人工解读的模式，要想获得稳定的通联效果，就必须要有强大的发射输出功率、巨型的天线阵、性能优越的接收机和精密的辅助跟踪系统，这些设备条件都令许多爱好者望而却步。但是随着电脑科技发展，这种局面正在逐渐地改变，因为K1JT开发出了一个名叫WSJT的通信信号处理软件，这个软件采用先进的数字信号处理技术，具有非常强的纠错能力，即使接收信号非常微弱，也能准确地解调出信息。采用这个软件使得EME通信活动的门槛大大降低，只需要掌握一些有关EME通信的知识，即使用普通的器材加上一些辅助设备就能进行EME通信，从而使更多的HAM非常容易地就能够参与其中，去享受有别于短波或卫星通信的另一种通信乐趣。

受传播特性、天线以及器材等因素的影响，通常进行EME通信使用从VHF到微波的频段进行，目前比较热门的EME通信活动频段是144MHz、430MHz和1.2GHz，另外50MHz频段也比较活跃。在144MHz频段中对于已经安排好的联络，比较好的操作频率为高于144.030MHz，而对随意进行的QSO，则在144.000～144.030MHz较为合适。如果信号足够大并能进行SSB QSO，最合适的频率为144.150MHz及以上。

CW是EME通信中非常好的一种方式。由于信号很微弱，这种方式最为可靠。发送速度一般在10～15word/min。低于这个速度将会由于衰减和颤动导致通信中断，而速度过快又会导致字母丢失。

现在应用在EME通信上的主流软件是WSJT，你可以到这里下载：physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/。

这个软件提供了几种通信模式，相对应于几个不同的频段：

●**JT6M模式主要应用在50MHz频段（6m波段）。**

●**JT65B模式主要应用在144MHz和430MHz频段（2m和70cm波段）。**

●**JT65C模式主要应用在1.2GHz频段（23cm波段）**

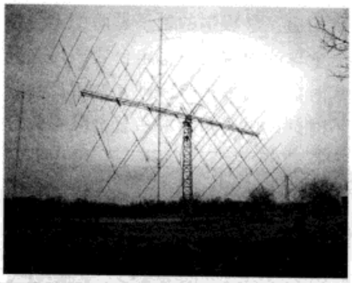
WSJT与CW或语音通信最大的区别是，WSJT是采用数字调制模式，完全依赖电脑的高速运算，准确解读人耳完全听不到的数据信号，正因为如此，听上去感觉只有噪声的频率或有很多干扰的信号，WSJT软件都能正确解读出信息，并且从WSJT的音频频谱窗口就能够很直观地看到。

EME通信电波传输特性

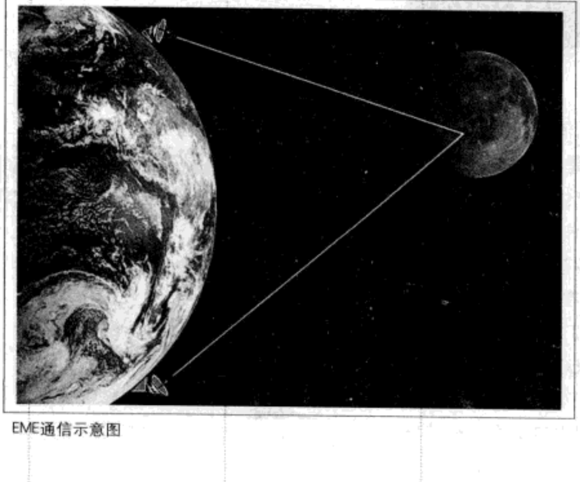
EME通信的电波传输路径长，无线电波需要来回穿越大气层、电离层、宇宙空间和月球表面等，因而无线电波会受到其间的诸多物理现象的作用和影响。其中影响EME通信的因素包括以下几种：轨道抖动衰减、极大的路径损耗，噪声（包括太阳及空间背景的噪声）、法拉第旋转、多普勒频移及由于空间位置的变化引起的极化方向的改变等。

轨道抖动衰减

由于地球和月亮在沿其自身轨道运行时存在着抖动，同时，由于月球表面很不规则，反射回来的电波信号也会呈现不规则的起伏，这两种因素的影响使电台接收到的信号出现畸变。轨道抖动和不规则的信号都可以引起电波信号的衰落和造成两个试图联通的电台之间有多普勒频移，这就是轨道抖动衰减。当在144MHz频段上进行操作时，你会感到信号有几秒短时间的波峰和波谷出现，这就使得只能听清呼号的一部分，接着就是很弱的信号。这些影响并不仅在144MHz频段上反映出来、在1.2GHz频段上甚至可以有高达20dB的衰减并有10Hz的频移。一般而言，轨道抖动所产生的衰减在月升或月落时刻最小，月球在天顶时产生的效应最大。由于地球旋转速度也与月球有关，位于高纬度地区的电台受轨道抖动的影响会比较少一些。



K5GW天线阵



EME通信示意图

路径损耗

月球距地球在近地点时的距离约为363 300km，远地点的距离约为405 500km。由于月面不规则形状的影响，发射到月球的电波信号只有7%（约-11.8dB）左右可以被反射回来。其余的（约93%）则被吸收和损耗掉了。路径损耗和通信频率成正比，频率越高，路径损耗越大。因此在144MHz频段上，反射回来的电波在近地点的路径损耗约为252dB，远地点约为254dB。对于低功率的电台，近地点和远地点这2dB的差别有可能是成功QSO的一个重要因素，因此，通常EME的QSO计划宜安排在近地点附近时段进行。月球的反射率不会因满月或新月而有差别，只是满月时能够比较容易寻找目标。

天空噪声

由于太阳和背景空间产生的噪声干扰，会影响电台接收弱信号的能力。对处于北半球的电台，当月亮呈新月状时（除了月食以外，肉眼无法看到月亮），或月亮在空中位于远南端时，通常通信效果不理想，当月亮最靠近南方时，通信效果最不理想。这不仅是由于在这种情况下南方的星座引起的背景噪声增加，还由于天体的运行规律，使电波的实际传输路径变得更远，因此，当月球位于靠南的位置时，纬度越高的电台看到的月亮越小，通常他们很难在空中联通。对于位于北半球的电台来说，一个月中最理想的通信时间是当月亮从其向北倾斜角度最大的位置转向天空南方时。在太阳接近月球的时刻或者天线有很大的旁波瓣时，所接收到的太阳辐射噪声会非常强，有时甚至会超过接收机所具有的噪声。对于使用较低波段进行的EME通信，太阳辐射噪声

会越严重。对于430MHz及1.2GHz频段，有可能会接收到来自银河系星球所辐射的噪声干扰，月球表面产生的约210°K的辐射噪声也会对信号产生干扰。

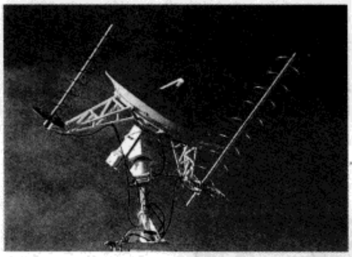
另外，还有一些奇怪的干扰会影响到EME通信的效果，例如双重反射，电离层变化产生的信号聚焦或散射现象，太阳风造成磁暴等，好在这些现象发生持续的时间很短暂，可以等这些现象消失后再进行通信。

法拉第旋转

法拉第旋转是由于地球电离层对无线电波信号的影响而产生的一种极化旋转，也有人说是由于电波信号通过电离层时地球磁场对其造成的影响。当无线电波在前往月亮和返回途中经过电离层的时候，地磁场导致到来的无线电波的极化产生好几次的旋转，因而引起接收信号有一个深的周期性衰减。在一定的时间间隔内，这个周期会有所改变，随着频率的增加而变长。估计在144MHz频段上，这个时间间隔为20～30分钟。因为法拉第旋转受电离层密度和地球磁场的影响，如果电波传播路径与地球磁场成垂直角度则不会有这种现象，所以设置在赤道上的电台就不会有法拉第旋转现象的困扰。另外在夜间电离层的密度比较低时，法拉第旋转的影响也比较小。法拉第旋转并不具有可逆性，因而电波来回往返会造成两倍的影响，并不会两相抵消。如果采用一个电动机控制天线极化角度去跟随着法拉第极化旋转而旋转，则可减轻所带来的信号衰减。也有人把两副天线的振子互相垂直地成十字形安装在一起，构成所谓“十字交叉”双极化八木定向天线，通过用高频开关切换接入两条不同极化的振子，也能在一定程度上改善法拉第旋转所引起的衰减。法拉第旋转所引起的衰减可以用发射和接收圆极化波来消除。运用圆极化波的另一个优点是左旋和右旋极化波并不会互相干扰，可以在相同的天线上运用两种不同的极化波，同一条天线能以20dB以上的隔离度发射和接收左旋或右旋极化波。

多普勒频移

因为月亮围绕地球运动，在EME信号上会产生一个多普勒频移。多普勒频移与工作频率及电波路径的变化率成正比,对于144MHz频段，在月亮升起时会产生高于你的频率300～500Hz的多普勒频移，当月亮落下时则会产生低于你的频率300～500Hz的多普勒频移，当月亮在头顶上时则没有多普勒频移现象。对于两个不同位置的电台，两者之间的EME通信产生的多普勒频移是两台信号多普勒频移的算术平均值。最极端的例子是两个电台位于地球的两端，一个电台处于月亮升起时刻，而另一电台则是处于月亮落下时刻，由于两者的多普勒频移效应恰好相反，两相抵消反而没有频移产生。另外要注意的是在EME通信中，其实多普勒频移的变化是缓慢的，如果接收机的通频带比较宽的话，并不需要频繁地调整，多普勒频移随频率的增加而逐渐增加。在144MHz频段，可以调节接收机的RIT或分开的VFO在将要接收频率的± 750 Hz范围内跟踪信号即可。采用WSJT软件进行QSO时，软件会在一定范围内自动跟踪补偿信号的多普勒频移，甚至不需要人工去干预和调整。



圆标化天线

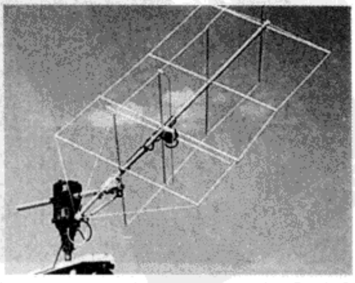
地面增益

当天线水平地指向地平线上可能获得达6dB的额外信号增益，这是由于在天线前面的平坦地面以特定角度反射电波所造成的，这个现象称为“地面增益”。尤其是一些简陋的电台，可以使他们的天线以没有仰角、水平地指向月亮将要升起来的地平线方向架设，这样当月亮从地平线上升起的时候，在0°到10°～12°的上升区域中，就能利用到这6dB的信号增强效果，达到成功的QSO，而且这个现象在地平线上不会显著地增加地球的噪声电平（当然，天线所指方向有人为造成的干扰除外）。

最好的操作时机

通常EME通信最好的操作时机是在月球处于近地点的时候，这时电波的衰减量最低。然而，月亮最接近地球的最佳位置以9年为一个周期，本周期最接近位置是在2007～2010年间，因此，现在正是处于操作EME通信的最好时期，希望大家不要错过这个月亮最接近地球的最佳时机。但是，也不是说在其他时期不能进行EME通信操作，事实上在整个9年周期内随时都有很多非常好的EME联络发生。

另外，当月亮在天空的位置（与水平面成的倾角）比较高时，通常天



十字形天线

空噪声会比较低，也是EME最好的操作时机。这一倾角还决定了北半球两个电台之间最长可能的共同操作窗口（例如中国和美国，中国与欧洲之间），因此，北半球地区电台的最佳EME操作条件应该是以月亮的最高倾角而建立的。

在月亮的四个相中（新月、上弦月、满月和下弦月），在新月前后一两天，由于太阳噪声比较大，并不适宜进行EME通信。在能看见月亮的白天，由太阳所引起的电离层扰动能降低EME通信状况。因此，通常在夜间进行EME通信操作比较好。处于稳定夜间条件的满月是进行EME通信操作的有利时机。通常，每个月只有数天是EME通信条件有利的时候。有些EME通信月球跟踪软件会试图综合各种因素以一个图表的形式告诉你每个月的哪几天是条件最好的。一些EME通信的讨论组也有定期发布传播预测的信息。不管怎么样，选择月亮处于近地点、月球在最大倾角上（最靠北方），再结合最低天空噪声的时候就是EME通信成功的最好机会。

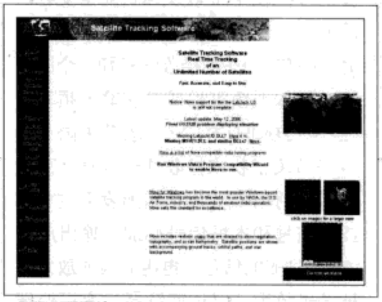
EME通信如何进行

进行EME通信最必须具备的条件是通信双方电台都必须同时看到月球，同时看到月球的时间叫做月球窗口。通过一些月球跟踪软件可以很直观地实时了解月球窗口所覆盖的地域，这样就知道所能通达的电台位置。

其次，由于月球距离地球非常远，信号来回需要一定的时间，电波要经过2.3～2.7s的延时，才知道是否可以听见反射回来的自己的信号。

通常EME通信采用两种QSO方式。一种是值守在相关的呼叫频率上，和搜寻到的电台随机进行QSO。另一种是按照预先约定的频率和时间进行的QSO。如上所述，由于EME通信受月球运行轨道以及天空噪声等因素的影响，大多数情况下每个月只有数天是通信条件最好的，因此，大家也就预先约定在这些时间进行QSO。一般条件简陋的小台多数是以这种方式进行QSO的，以提高成功率。通过EME活动网站或者是论坛可以了解到很多这些通信活动信息，遇到周末或者是一些传输通道特别有利的日子，活动的规模会比较大，如同是一个EME通信的节日一样。

你可以到下面的“EME NET”上了解EME的活动情况：*www.nlsa.com/nets/moon-net-help.html*。你可以在该网站上发表你准备进行EME通信的消息。

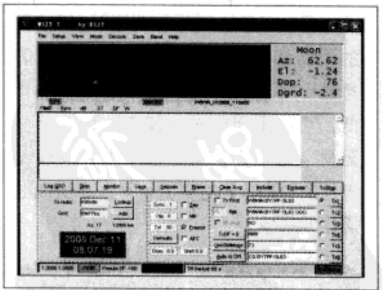


EME NET网站

如果你是刚开始这项活动，一定要把你的电台位置、通联方式和设备情况（包括发射功率、天线情况，以及是否限于月出或月落等情况）介绍清楚，因为中国的电台在EME通信中还是非常罕有的，属于珍稀电台，所以网上一定有很多“大炮”电台愿意和你进行试验。刚开始的时候与“大炮”电台进行联络比较容易成功，有利于积累经验，提高你的信心和乐趣。同时这些电台也会非常赞赏你的挑战，并且会以他们的经验给予大力帮助，并指示在何时为最合适你的EME通信窗口，约定跟你进行QSO试验。

EME通信在某方面类似于流星散射，二者都是对微弱、无规律的信号进行处理。因此，与流星散射一样，EME通信也有自己的联络规程，但是由于EME信号的特点，其联络过程又和流星散射有很大的区别。由于在EME通信时往往把浮沉于噪声之中的信号当作通信的对方，因此，按照预定的通信程序进行通信可以提高对信号的辨识能力。收发时两端先校正时间标准，VHF频段的EME通信是发送两分钟接收两分钟交替进行QSO，而UHF则是采用交替发送两个半分钟接收两个半分钟的QSO方式。EME通信采用TMOR信号报告格式，T-代表部分信号可接收，M-代表全部信号可接收，O-代表强信号，全部可接收，R-代表识别全部呼号。通信成功时，一端发送“RO”，另一端发送“RR”。

由于EME通联信号非常微弱，而且信号的变化也可能是非常之大，因此EME通联应该有足够的耐心，细心调整机器状态和天线指向。每次通联呼叫周期最好在30～60min，使操作可以跨过整个法拉第旋转衰减周期，提高通联的成功率。在通联成功以后，最好能把电脑屏幕上的显示资料硬拷贝下来存档，以作为QSO成功的证据。WSJT软件可以把通联过程的接收信号记录成.wav的波形文件，方便进行分析、交流、存档，并且也可以作为QSO的证据。把这个波形文件在



保存EME通联信号

WSJT软件中重放，就可以重复通信当时的情景，软件的这个功能对于作为分析、交流和展示EME通信过程十分有用。

走近EME通信试验 下篇

◎吴国光（BA7IA）

要成功地完成EME通信，必须有一定的基本器材装备，如收发信机、天线以及附属设备等。这些装备的功能与整体系统所能发挥的能力有着密切的关系。从理论上讲，发射部分重点是大的发射功率，对于接收机而言，高的灵敏度和低的噪声是重点，而天线系统主要是高增益低损耗等。EME通信系统中，发射机的输出功率经由低损耗的电缆送至天线端，再由天线向月球发射。由于电波的路径非常长，并且月球反射波散开的面积非常大，接收天线只能收到很小的回波，接收天线输出的微弱信号经过前置放大器预放大以后，送到接收机进行变频、中频放大和解调，最后恢复出声音信号，输出供人或电脑进行信息判读。如上期所述，采用JT65模式进行EME通信，由电脑运算进行信号的调制和解调，操作者根据屏幕的信息进行判读，令EME的操作门槛大为降低，可以采用相对比较普通和简单的器材，即使你只有一根八木天线和几十瓦的功率，通过努力也可以享受EME通信的乐趣。

收发信机

需要一台VHF/UHF的全模式收发信机，当采用JT65B模式进行EME通信时，对机器的要求并不高，只要频率稳定、至少有USB模式就可以了。可以用ICOM的IC-910H、IC-820H和IC-746PRO等，还有KENWOOD的TS-2000E。在搜集资料的时候，我发现颇多的HAM使用HF收发信机配搭变频器的方式。变频器的工作原理是在接收时把VHF或UHF的接收信号和一个固定频率的本振频率相减，使输出频率落在28～29MHz的10m波段范围内，再用HF收发信机来接收这一信号。而在发射时则把HF收发信机所发射的10m波段信号和本振信号相加，输出成为VHF或UHF的信号，再用适当的放大器把信号放大，经过变频器的变换处理以后，就能够利用HF收发信机来进行EME通信了，可以不用重新添置VHF/UHF的全模式收发信机。HF收发信机以ICOM的IC-756PRO及以后的系列为多，或许这与这系列的机器具有DSP功能有关，还有KENWOOD的TS-850等，变频器为DB6NT生产的LT系列。有动手能力的也可以在网上找到制作资料自制一个。

天线

天线在EME通信系统中是最重要的一个部分，天线必须要有足够的增益，以提升有效的发射功率，同时增加接收信号的强度，天线也必须具有尖锐的方向性和低的旁瓣。一般操作在VHF或UHF的EME天线都采用高增益的八木天线阵列，比较流行的是四堆叠的八木天线阵列和两堆叠的八木天线阵列结构。当然，也有采用单八木天线的成功例子。大多成品天线都是宽带设计，性能最好的在频段中部，但EME所使用的频率集中在频段的低端，2m波的在144.200MHz以下，70cm波的在432.200～432.400MHz，有动手能力的朋友完全可以按照这些频段自己制作，省钱之余又有高性能，一举两得。

IC910H

IC756PRO

TS2000E

TS850S

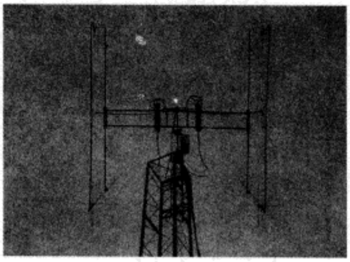
个人认为，使用2×5单元阵列比使用单个10单元八木天线有优势。为啥？从方向性方面想想，方向性越尖锐越能集中能量击中月球。把八木天线堆成天线阵列可以提高增益和方向性，但将八木天线摆在一起会产生彼此干扰的现象，因此天线之间的距离需要耐心调整，以求得到最佳的增益和方向性。天线阵列由多条八木天线组合，若分别输入信号会形成非常复杂的系统，一般采用功率分配器及电缆移相器等将输出功率做适当的分配，调整后再分别馈送到每条八木天线的输入端。频率高的天线结构比较小，并且增益容易做得比较大。因此，在居住条件比较狭小的日本，天线比较小的430MHz和1.2GHz等高频段EME通信比较活跃。1.2GHz频段以上的微波频段除了用八木天线阵之外，比较多的是采用抛物面反射式天线，抛物面天线的增益更大，方向性更好。抛物面反射式天线的增益和抛物面的截面积有关，所以，抛物面天线的增益能够做得非常大。抛物面天线的反射面并不需要用整块金属板制作，可以采用金属网或金属条来构成，只要反射网的网孔小于十分之一波长就可以。这样可以节省制作材料，使制作变得容易，同时，也可以大为减轻天线的重量，减少天线的风阻，减轻天线在架设、跟踪和定位等方面的困难。抛物面天线只要通过更换或者增加馈源就能改变天线的工作频段（当然增益和指向性等特性会有变化），而且通过旋转小小的馈源就能改变天线发射和接收的极化，这样就能更方便地跟踪调整天线的极化来减小法拉第旋转引起的信号衰落。因此，抛物面天线被广泛应用于EME通信。

两堆叠天线

天线的架设和跟踪

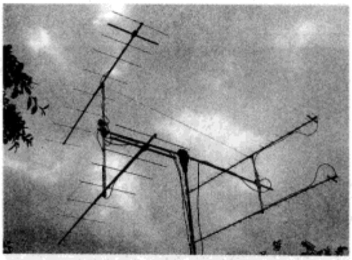
由于EME通信所用的天线波束很窄，因此，天线的架设必须特别考虑，以使架设的天线能经受不同环境的变化，天线的架设以坚固和稳定为基本原则。我查找了许多资料，总结出惯常EME通信天线的3种基本架设结构。

第一种是固定架设。这是很多低配置电台或临时架设时的做法。如前所述，天线水平地（或以5°~8°的小仰角）指向月亮升起或者下落的地平线方向，可以得到6dB的地面增益，达到成功的QSO。这种架设方法最简单，而且天线在整个QSO过程中甚至并不需要进行调整，但这种架设方法QSO时间比较短，只在月亮升起或者下落0~12°这段时间进行（QSO时间约40min，若天线以7°左右的仰角安装，则QSO时间可延长到1个多小时）。

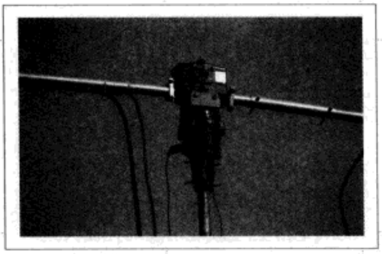

四堆叠天线

第二种是极轴架设。天线固定在一个主轴上，预先调整主轴安装仰角角度和月亮轨道平面相垂直（注意不是和地面垂直哦）的位置上固定好，这样只要单纯旋转主轴，就能在整个看到月亮的天空中跟踪月亮。由于月亮在天空的移动速度比较慢，大约每小时15°，因此，采用这种架设方法很容易用人工追踪月球，只要你有足够的体力跑来跑去调整天线的旋转角度就行了，这可是强身健体的好方法。就算用电动控制，也只需要采用一个天线旋转器，只要坐在Radio room(电台室)里就能够随时控制天线对准月球，多爽！

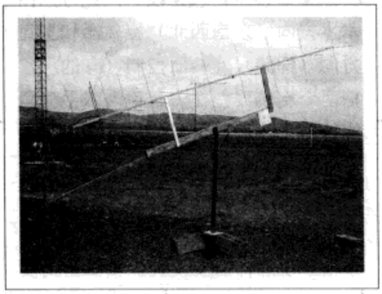
第三种是两轴架设。天线分别由水平方向（东南西北）旋转器和垂直方向（仰俯）旋转器控制（有的厂家把两个旋转器做在一起称为水平仰角旋转器）。采用这种架设方法的天线可以指向空中任意一点，这是最普遍的EME通信天线的架设方法。受欢迎的原因是建造的方法清楚明白，不像极轴架设那样需要设置极轴仰角角度


天线阵

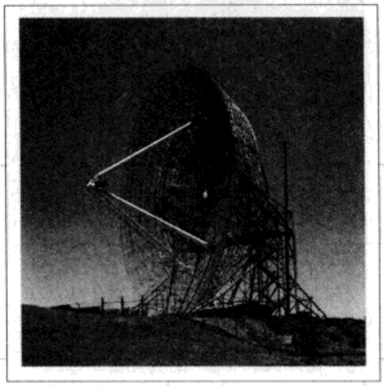
（因为这个角度会随着月亮的轨道平面相对地球赤道面作不停地摆动而变化，每天大约有2°的变化量，因此，每次运用都要进行调整）。但是，两轴架设要有效地追踪月球，需要同时调整方向角和仰俯角。所幸的是随着个人电脑的普及，已经有HAM开发出利用电脑控制两轴旋转器的跟踪软件和接口，只要在软件中设置好电台所在位置坐标，软件会自动从网上下载标准时间和月球准确的轨道信息，软件即可自动计算和控制天线实时跟踪月球，在整个EME通信的过程中，甚至都不需要人去干预。通过改变下载输入的不同轨道参数信息，软件还可以使天线用于跟踪各种卫星，从而使天



水平仰角旋转器



简陋的EME天线



EME抛物面天线

线很容易地用于进行卫星通信。有的HAM嫌用电脑控制麻烦，干脆在天线上安装一个小摄像头，通过人工操作旋转器使从摄像头上看到的月亮影像在屏幕中间，由于月亮在天空的移动速度慢，如此也能达到跟踪月亮的目的。但这种方法在有密云或雨天时就无法应用了。

馈线

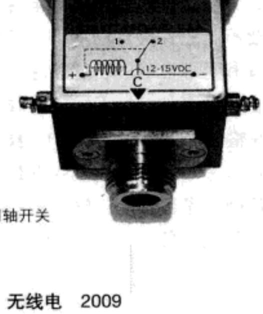
经过月球反射回来的信号通常都很微弱，如果传输电缆损耗大的话，弄不好都给馈线损耗了。因此，连接的馈线必须采用发泡或超发泡低损耗电缆，如10D-SFA、8D-SFA、LMR 400、Belden 9913、10D-FB、RG-213U等型号的电缆，不能用RG-58或RG-8这样的普通同轴电缆。同样地，低损耗的传输同轴电缆可以把发射功率最大限度地传输到发射天线。另外，由于发射功率比较大，因此发射用的同轴电缆除了要求低损耗以外，还要能耐受较大的功率，通常发射同轴电缆采用如LAF4-50A、HRCAY-50-9等1/2寸波纹同轴馈管为佳。为了使电缆对电波信号的损耗最小，连接电缆的长度也应尽量地缩短。有一个经验数据是，若采用8D-FB的电缆，长度应小于15m，如果需要的电缆长度比较长，就要用更粗或者损耗更小的电缆。对于接收和发射采用不同电缆的安装方法，需要在天线端安装一个同轴开关，在发射和接收时自动切换到相应的电缆上，有的接收前置放大器内部带有此功能。

接收前置放大器

接收前置放大器除了用于补偿传输馈线的损耗以外，更重要的功能是提高信号的信噪比。因此，EME通信的接收前置放大器需要用一个小于1.5dB噪声系数和增益大于20dB的低噪声前置放大器。一般来说，所有的接收系统都有他自己的本底噪声，使用了低噪声的前置放大器后，机器的信噪比会大幅度的改善，这个对于弱信号能否成功解读很关键。低噪声前置放大器一般采用GaAs FET或HEMT FET等低噪声场效应器件制成，为了得到良好的效果，通常把放大器造成天线杆顶盒的形式，安装在离天线馈电端最接近的地方，并且，通常内部带有收发电缆的转换开关，通过收发转换信号控制开关对接收和发射信号进行切换。有些厂制的接收前置放大器是通过接收信号同轴电缆供电的，因此，不需要另外架设供电线路，使用非常方便。

线性功率放大器

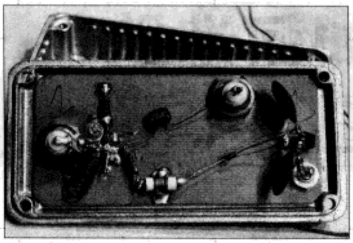
一般的VHF/UHF全模式收发信机的最大发射功率只有VHF 100W / UHF 50W，为了达到EME通信所要求的发射输出功率，通常需要在收发信机后面加上一个线性功率放大器提升发射功率。EME通信要求入门级的输出功率要在200W以上，一些所谓的“大炮”电台的输出功率可达几千瓦级！功率放大器可以采用电子管或晶体管构成，VHF/UHF功率放大器厂制的和自制的都有，频率超过1.2GHz的就以自制的为多。由于EME通信采用CW和SSB模式，前者可以采用效率比较高的C类放大器，输出功率容易做得比较大，对电路的线性也没有特殊要求，有很多以前BB机发射机上的功率放大器模块可以利用。而后者则需要采用线性特



同轴开关

前置放大器内部

前置放大器


自制的前置放大器

性比较好的AB类放大器，但电路的效率比较低，需要采用比较有效的散热方式，以提高放大器的稳定性。近年来，随着器件性能的不断提高，有动手能力的HAM采用大功率的并联FET管自制VHF的1000W和UHF的500W线性功率放大器已不是难事。

软件

用于EME通信的计算机辅助软件可分成两类，一种是月球跟踪和传播预测软件。在网上可以找到一些外国HAM编写的这类软件，大家可以到这些网站下载：

①N1BUG的“Z-Track”，用于对月球的跟踪。

www.g1ogy.com/www.n1bug.net

②GM4JJJ的“MoonSked”，用于EME的传播预测以及跟踪月球。

www.gm4jjj.co.uk/MoonSked/moonsked.htm

③W7GJ的“Tracker”，用于对月球进行跟踪。

www.bigskyspaces.com/w7gj/tracker.htm

④VK3UM的“EME Planner”，用于预测太阳、月亮与地球的位置。

www.ursa.fi/extra/ohjelmarekisteri/show_prog.php4?id=209&version_id=1&lang=en

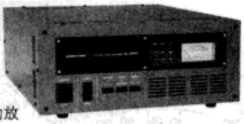
⑤Sebastian Stoff 写的著名卫星跟踪软件“Orbitron”也可用于对月球基本轨迹预计。

www.stoff.pl/orbitron/files/orbitron.exe

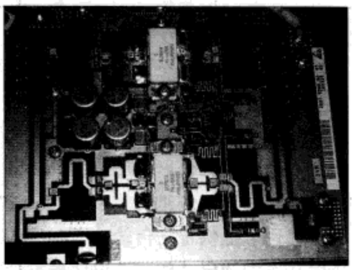
⑥VK3UM的“EME2008”，用于点对点的最佳窗口预计，“EMECalc”则用于系统性能的计算。

www.vk3bez.org/vk3um_software.htm

另一种是通信调制/解调软件。比较有代表性的就是上期提到的由1996年诺贝尔奖得主K1JT编写的软件WSJT，软件下载地址：**physics.princeton.edu/pulsar/K1JT/**。WSJT软件所采用的JT65 数字编码技术是专门为像在 EME 通道上所遇到的那些极端微弱信号的沟通而设计的，JT65 数字编码技术是以现代信息论的数学理论为基础，传输的信息首先被格式化和压缩，在被精确压缩以后的信息流中插入用于纠错的 RS（63,12）里德所罗门冗余码，然后码流再经过交错和格雷编码处理，另外，还在码流中加入一个伪随机“同步矢量”编码，用以精确校准收发编码/解码系统的时间和频率误差，使软件可以克服由多普勒漂移、EME通道延迟和误差等对信号的扭曲。最后把这些数据信息采用对65个音频载波进行频移键控的方式进行基带调制（其中64个音频载波用于传输信息数据，一个音频载波用于传输同步编码），让信息分布在一个广阔的音频频谱上（0～3000Hz），这一调制形式比幅度键控调制更有效率，比相移键控调制更能宽容频率的不稳定。通过这一系列处理以后的编码信号，再送到收发信机上通过SSB调制模


500W功放

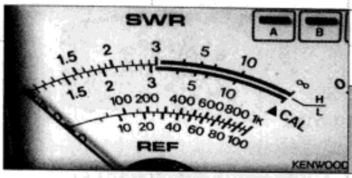
VHF功放


功放内部结构

式变成高频信号发射出去。经过这样处理的JT65 数字编码信号具有强大的自我纠错和抗衰落能力，信号即使经过EME通信通道的深度衰减、衰落、干扰以及加入了改变幅度、频率和相位的“通道调制”噪声，也能从中解调出正确的信息。实践证明，在比CW信号低十几分贝的被埋入噪声之中的信号中采用WSJT软件，仍能正确无误地解调出信息，确实令人惊叹数字编码技术的神奇和伟大！

由于JT65数字编码所处理的是幅度恒定的连续音频信号，对于已调波信号的放大处理并不要求是高线性的，因此，处理调制后的JT65高频信号可以像对待CW信号一样，这样，功率放大器就可以采用效率比较高的C类放大器，放大器容易获得比较大的输出功率。

在WSJT最新版本的软件中，甚至还嵌入了一些天文计算，提供太阳和



如何选购二手驻波比表

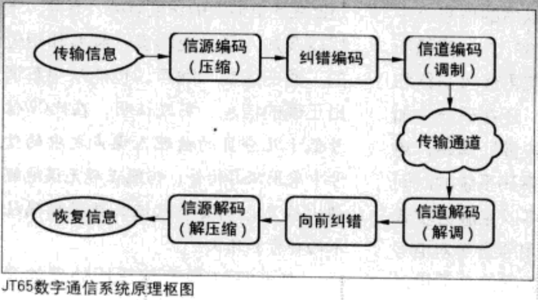
◎聆听

驻波比表用来测量射频传输系统的阻抗匹配情况，是测量无线电发射系统的重要仪器，也是业余无线电爱好者最常用的射频测量仪器。

认识驻波比表

驻波比是表示传输线中正向传输功率和反向传输功率的比值，即$V_{SWR}=(1+\Gamma)/(1-\Gamma)$　$r=V_{rev}/V_{fwd}=\sqrt{P_{rev}/P_{fwd}}$。驻波比表实质上是一种定向耦合器，所以有不少驻波比表除了可以测量传输系统的驻波比外，还可提供正向传输功率和反向传输功率的读出功能。驻波比表与功率计有些功能是重叠的只是侧重不同，有些通过式功率计也提供驻波比检测功能，此类多功能产品被称为驻波比功率计。有很多通过式功率计虽然不提供驻波比直接读出功能，但可以测量传输线中的正向传输功率和反向传输功率，知道这两个数据后，可以通过计算或查表来得知驻波比。驻波比表以串联形式接入传输系统，当驻波比表的输出端接上阻抗完全匹配的负载器时，其正向传输功率读出功能就能当作功率计使用（此时反射功率为零）。理论上，驻波比表当作射频功率计使用，除了仪器本身设计精度外，要求接良好的负载，否则将影响测试的准确度。在频率很高的情况下，一些品质不太好的连接器和电缆以及负载器都会造成负载匹配状况劣化，使驻波比升高，影响功率测试的准确度，所以若要求高准确度的测量功率，还是用专业的终端型功率计比较好，因为其负载系统由仪器厂家设计制造，性能更有保证。

很多用户都喜欢既可以测量驻波比又可以当功率计使用的多功能仪器，但需要注意的是，有很多廉价的简易型驻波比表在其工作频率范围内测量驻波比数值比较准确，但用来测量功率线性误差很不均匀，在某些波段误差比较大。究其原因，高品质的宽带定向耦合器还是比较难做的，而驻波比表中的传统电子线路部分则容



JT65数字通信系统原理框图

月亮跟踪的数据，EME信号的多普勒频移，天空背景温度等天文数据处理功能，操作上更加方便EME通信的应用。

一个典型的最小化144MHz频段EME电台

一条单水平极化VHF八木天线，其增益大约是12.5 dBd（或大约14.6 dBi），天线以极轴方式架设，用一个方位旋转器来跟踪月球。收发信机采用任何能操作在VHF频段的全模式接收机和发射机或收发装置。作为接收机需要有RIT或分开的VFO功能用于补偿多普勒频移。接收机应具有窄带的中频滤波器（例如 500 Hz带宽），采用内置或者外置的DSP将有助于改善收听微弱EME 信号的信噪比。还要配备一台至少输出150W功率的功率放大器和一台少于 1.5dB噪声系数的低噪声接收前置放大器。接收前置放大器要安装在天线输出端上，在发射时用继电器把前置放大器切换开，以避免发射的高电平信号损坏前置放大器。低损耗馈线电缆将会使接收机的信号衰减到最少，而且使传送到天线的功率最大化。有条件的可以用1/2寸波纹馈管电缆，以减低信号损失，甚至把接收和发射信号分别用两条电缆进行传输，以获得最好的效果。轻便的笔记本电脑用于运行WSJT软件，借助软件在电脑上完成QSO的全过程。

实践证明，如果一些EME通信的QRP电台，在掌握好时机的情况下，是完全可以和一些EME通信大台通联上的。

本文的撰写得到了VR2KW的大力协助并提供宝贵意见，另外，还参考了**www.hellocq.net**上的其他HAM提供的一些资料和心得，在此深表谢意！

图1 数显驻波比表

图2 Diamond SX-1000单针单表头驻波比表

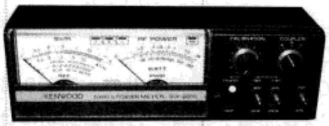


图3 KENWOOD SW-2000单针双表头驻波比表

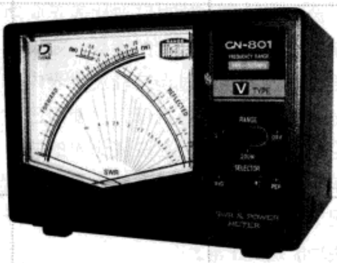


图4 DAIWA CN-801双针单表头驻波比表

图5 HP 415E 驻波比表

易得多，甚至可以DIY。当然，一些高端的具备驻波比测试功能的仪器配合良好的负载系统，用来测量功率的准确度还是很高的。二手市场常见的R/S NRT、NAP都有很高的测量准确度，不过这些仪器通常都划归为通过式功率计范畴，驻波比测量只是他们一个附带功能。如果用户既想测量驻波比又想比较准确地测量功率，就需要选择性能比较可靠的驻波比功率计，同时还要准备一套高品质负载器和连接电缆（建议条件允许可以直接将负载器连接在仪器的天线输出端，这样可以减少接头和传输线对负载系统造成劣化的可能）。

驻波比表的分类

按显示方式，驻波比表分为指针表、数显表、发光管显示型。就像万用表一样，驻波比表的显示有指针指示和数字显示，数显的优势是消除读数误差，而且对于微小的读数分辨率高，但与产品的测量性能（准确度）并没有直接关系。

1. 数显驻波比表（见图1）

数显的缺点是不能很好地显示快速变化的数据，这对显示快速变化的功率读数非常不利，所以有的产品在提供液晶数字直接显示的同时，也提供液晶指示条模拟指针显示和外接指针表头显示。数显表消除了读数误差，同时更容易暴露检测误差，知名品牌产品的数显驻波比表往往出现在中高端产品线。

数显驻波比表大多采用单片机控制，除了读数直观的优点外，每次测量不需要像普通单表单针驻波比表那样进行满刻度校准，操作更为方便。发光管显示型驻波比表采用点亮特定发光二极管来表示特定的驻波比数值，基本属于传统指针表线路的变形，优点是直接读数无需满刻度校准操作，缺点是功能单一，往往只能提供驻波比显示。传统指针表具有结构简单、电路可靠性高、大部分是无源设计、无需电池供电、价格便宜等特点，目前依然是实场应用的主力。

2. 指针式驻波比表

按指针表表头的类型可分为单针单表头、单针双表头、双针单表头几种。

驻波比功率计主要测量的就是驻波比兼具正反向功率，所以就有3个数据（驻波比、正向功率、反向功率）需要输出。

普通单针单表头型输出采用开关切换不同的项目，结构简单、成本低，是目前中低档驻波表的主流形式，见图2。缺点是查看每个项目数据都需要通过开关切换，显示驻波比需要进行校满刻度操作。

单针双表头驻波比表采用两个普通单指针常规表头，用来同时提供正反向功率或者驻波比，通过开关来切换，优点是不需要专用的特制表头就可以同时显示正反向功率，见图3。对于发射机用户，驻波比只是一个参考，最大的正向功率和最小的反向功率才是调整天线的最终目标。该表的缺点是显示驻波比仍需要进行人工校满刻度操作。

双针单表头采用一个特殊的表头，表头内有两套指针分别指示正向功率和反向功率，再通过两指针的交叉点配合表盘上刻度显示驻波比，这样利用一个表面、两个表针就能同时显示三项信息。双针单表头结构的驻波比表读数直观，无需每次测量都进行校准操作，特别方便配合手动天线调谐器改善天线匹配状况，见图4。缺点是加工专用表头比较复杂，同时还需要绘制专用的非线性表盘。

二手驻波比表选购

1. 驻波比表关键参数

选购驻波比表的最重要的参数是阻抗特性、频率范围、功率范围。

常见的驻波比表有50Ω和75Ω两种阻抗特性，彼此不能通用。通常通信电台发射系统多是50Ω阻抗系统，广播电视发射系统多是75Ω阻抗系统。如果使用阻抗不匹配的驻波比表读数将非常不准确。一般对讲机、车载电台、船用电台、业余电台都是50Ω阻抗系统的。

图6 Rohde&Schwarz NAS功率驻波比表

驻波比表的频率范围是指其设计允许测量的波段的上下限，常见的驻波比表有HF短波段、10m波段(26~32MHz)或者也被称为CB波段、VHF波段、UHF波段等，一些中档的表可以支持多个波段。如果超出驻波比表的工作频率范围其测量的准确度就不能保证，尤其是功率测试。需要注意的是一些入门级产品，标称的工作频率范围仅保证驻波比测量准确度，而功率测量范围的准确度则小得多。有些为业余电台设计的产品，超出业余波段后误差将明显增加，尤其是功率读数。

驻波比表的功率范围是指驻波比表可以承受的最大通过功率或者可以有效测量的最大功率和完成驻波比测量需要的最小功率。对于一些大功率的发射系统会烧毁承受功率较小的驻波比表，而对于一些不足1W的小功率发射系统有些驻波比表不能有效地测量（无法达到驻波比表校满幅的最低输入功率要求）。

2. 驻波比表产品结构

前文已经介绍过驻波比表的常见分类，在实际使用的方便性方面，指针表系列中双针单表头优于单针双表头，单针双表头优于单针单表头，但从产品价格因素往往只能退而求其次。另外从所选用表头的质量（精度）也可以反映出产品的品质和档次，一些入门级和低端产品使用的多是廉价表头。对于希望用驻波比表来测量功率的用户最好选择有多挡功率量程的驻波比表，这样在测试小功率输出时比较容易读数。

对于数字显示的驻波比表要求数字刷新快，有高响应速度的条状模拟指示或者允许外接指针表头同时显示的更好。可以同时显示正反向功率的数显表会给你的工作带来方便，此外一些高档表除了基本的驻波和功率测量外还支持调制度测量、显示单位选择等额外功能。很多高档数显表都是主机和探头分离设计，通过更换不同的探头来适合各波段功率的测量，所以选购二手货时要确认所搭配的探头的型号种类以确定有效功能。二手市场上有不少没有探头的名牌主机，如果配不到探头就是废铁一堆，而生产厂家提供的全新备件价格非常高昂。数字表通常都需要使用电源的，内置电源的产品方便外出现场工作。

3. 产品与品牌

市场上常见的中档驻波比表品牌有日本REVEX、Diamond、Daiwa、MFJ，高档的主要是rohde&schwarz和HP的产品。一个好的品牌是产品品质的保证，市场上仿制REVEX和Diamond的产品很常见，虽然外观很像，但品质如何就很难保证了。中档单指针表以REVEX和Diamond为主，Daiwa产品系列中有不少双指针表，还有以DP-830为代表的数字显示表系列。高端的rohde&schwarz早期有双表头的指针系列，后期都改为液晶数字显示，代表产品有NAS、NAP、NRT。

4. 验收与校准

验收指针型驻波比表，第一步看表针状况，要求保证零位准确（如果有偏移，应该可以通过微调校准），走针灵活，没有卡针现象，指针表头通常是最娇嫩易损的部件。第二步初步检查各个挡位开关是否拨动灵活，高频接口氧化是否严重，如果严重氧化将直接影响测试结果。第三步实际测试与校准。有些驻波比表放置时间长了，内部调校电位器电阻值改变，导致测量误差增加。业余条件下可以用一个信得过的驻波比表作为参照比对测试，比较专业的测试和校准可以用功率信号源（或者发射机）与驻波比表输入相连，驻波比表输出与终端匹配负载相连，并准备50Ω、75Ω、100Ω、150Ω标准负载作为匹配负载和失配负载。准备一台终端式功率计作为参考功率测量之用，通过功率信号源输出信号，比对驻波比表正向功率的读数与功率计上的读数，如果误差过大，可以通过调校驻波比表内部对应校正电位器进行修正，使用已知阻抗的失配负载校准驻波比表的驻波指示数值。建议在不同频段和功率状况下多调试几次，同时检测各拨动开关功能是否正常。

对于数显的驻波比表，第一步先看电池仓是否有被电池严重腐蚀的情况。有的产品电池是内置在仪器内部的，有必要打开机壳观察，对于老化的电池应该及时更新。第二步开机看显示部件是否有故障损伤，有的高档仪表有开机自检功能，注意是否有出错信息提示。第三步实际测试与校准与指针表的基本一样，只是有些高档仪表内部结构复杂，建议先阅读维修说明书的有关调校章节后再动手。对于那些探头，建议没有专用仪器校准的情况下不要轻易打开和拆卸，很多探头的物理空间结构都是测试准确度的基本保证，不规范的拆卸容易影响仪器精度。

◎杨法（BD4AAF）

ICOM IC-7000 功能细说

自从ICOM公司的IC-7000多功能电台上市以来一直备受业余无线电爱好者的关注。IC-7000较传统通信电台有太多的创新，这对无论是刚入门的新手还是年过花甲的资深HAM都产生了巨大的吸引力。IC-7000有两个最大的卖点就是TFT彩屏显示和IF DSP技术的应用，其他数字录音、内置RTTY解码、全遥控手持话筒、频谱显示、HF/VHF/UHF多频段多模式操作、机头分离、视频输出、SWR图形显示、电视接收（有版本限制）等更是举不胜举。这也注定了IC-7000是一部多功能、很耐玩的电台。

IC-7000经过在HAM界数年的实战，有很高的购入比例，也有较高的换手率。对于该机所提供的功能大家基本比较满意，对其100W发射性能也没有多大异议，对其音质问题各人看法不同，这也与话筒特性和设置有关，目前争议比较大的是IC-7000的接收性能。很多业余无线电爱好者在购买IC-7000前通过产品宣传和有限知识的了解，都默认为这部花费近万元的小电台是一部融合了目前最新数字化科技的高档、高性能产品，其性能在传统电台上有质的飞跃。随着爱好者对该机器使用的深入和与其他电台对比的机会增多，我们可以客观地来重新认识一下这部电台的特性。

外观与特点

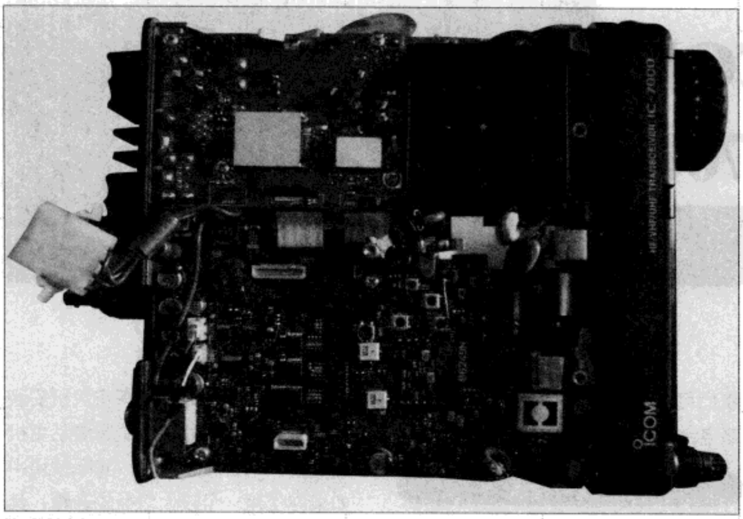
从外观体积上来看，IC-7000是一部定位于车载，并可以作为便携电台使用的“小而全”的电台（尽管没有内置天调），体积较传统标准体积的基地式电台小得多，加上机头分离功能（需要另外购买专用的机头分离线，由于其接口是专用的，所以不能像FT-857D、IC-2720H那样轻易用水晶头自制），非常适合安装在各种中小型车辆上。

说到天调，绝大部分中小体积电台所装备的内置自动天调调节范围都不大，大部分匹配范围在16.5～150Ω，也就是说可以改善SWR<3的天线系统，与一些室外长线自动天调和手动天调的调节范围相差甚远，所以也被称谓“锦上添花”型的天调，主要是用来扩展谐振型天线的工作带宽。IC-7000推荐配置的AT-180外置天线调谐范围参数为16.7～150Ω（HF）、20～125Ω（50 MHz），室外长线天调型号为AH-4。

IC-7000在控制头和机身上都提供话筒插口，这是ICOM广受好评的传统设计，方便各种形式的安装需要。只是该机在手持话筒上并未提供音频输出功能，如果打算将主机安装到汽车后备箱的话，还是需要从主机上外接一个音箱。另外，实际使用中如果你使用一个较大口径的音箱，其收听音质将有不小的提高。

IC-7000采用一块2.5寸彩色TFT液晶屏提供视频显示,成为整机外观上最大的亮点，它也是最早提供彩屏的多波段电台，彩屏提供了多种显示方式。机身上较大体积的拨轮手感不错，并提供飞梭和步进两种工作模式，以适合不同工作频段的操作习惯。IC-7000的主要功能键分布在显示屏周围，大多数都是复用键，在屏幕的下方提供4个“软键”，可以通过屏幕提示作为动态功能键。IC-7000的整个菜单系统采用多元化设计，并不是像FT-857/897那样单一菜单按字母顺序排列。这样的设计虽然在使用熟练后会很方便操作，但对于新上手的朋友会感到比较复杂，有时进行一些高阶操作会碰到找不到菜单的尴尬。

IC-7000的视频AV输出功能可以将整个显示屏画面传输到更大面积的显示器上，实际使用中准备一个7寸的液晶显示器或者支持AV信号输入的数码相框会有很好的显示效果。如果你使用12寸以上的大显示器反倒觉得图像不够精细，这是机器本来采用的



IC–7000内部图

分辨率有限的缘故。对于中高档汽车将显示屏的AV信号输入到汽车的综合显示器是一件很有趣的事情，通过遥控功能超强的HAM–151手持话筒可以实现除开关机外的大部分常用操作，这样IC–7000的主机甚至连控制头都可以实现“隐形”安装，不影响汽车内装潢的协调性。

IC–7000的电视接收和解调功能在以往的机型中非常罕见。虽然原则上只有日版的IC–7000才开放此功能，但其他版本的机器通过简单地改变机内跳线同样可以开启该功能。遗憾的是，由于国内电视节目的制式问题，IC–7000不能正确同时解调图像和伴音信号，要做到完美接收还需要更换机器内部的滤波器。IC–7000的电视接收功能并不是全频道，只能接收标准电视1～12频道。

功能与配置

IC–7000提供多工作波段（包括从HF短波到430MHz之间的所有业余波段），并且这些波段都可以使用USB、LSB、CW、FM、AM等主流操作模式。如果不计1200MHz以上频段和长波的话，大家常称它为“全段全模式电台”。HF/50MHz与UHF/VHF分别由2个天线输出端输出，方便连接不同波段的天线。在VHF/UHF波段提供SSB模式的功能在以前只有一些业余卫星通信用机才能实现。

IC–7000体积虽小，但提供台式机一样的输出功率，在HF和50MHz提供100W输出功率，在144MHz波段提供50W输出，在430MHz波段提供35W输出。在UHF/VHF频段的功率输出与主流双频段的车载对讲机相当。

IC–7000到手以后，我们很容易掌握其VFO模式和功率调节等基本设置，所以说很容易上手。至于进一步的详细设置则需要慢慢研究体会，这也是这个机器耐玩的地方，不会买来3天就没有新鲜感了。

IC–7000频谱显示

IC–7000内置有0.5PPM稳定度的温度补偿晶体，并且得益于IF DSP的应用无需安装额外传统机械滤波器，这两项开支在很多传统机型上都要另外花费数千元之多。所以如果从这个角度来看，加上标配HAM–151多功能数字键盘手持话筒，IC–7000的价格并不比FT-857/897加上同等选件贵多少。IC–7000提供了ICOM标准的4pin天调信号接口,与ICOM AH–4和AT–180天调可以直接使用，更可以使用无需控制信号的SG230和CG3000等通用天调。ICOM的选配件价格都比较高，常用的配件有提手、机头安装支架、机头分离安装线、AH–2B车载短波天线。IC–7000不能使用YAESU公司的ATS–120自动调节天线，也没有同类型产品提供。

IC–7000可以通过数据线与多种第三方电台控制软件和电台日记软件连接,作为业内名机，支持它的第三方软件自然多，常用的控制软件有Ham Radio Deluxe、RadioCom 6.0。

IC–7000在待机的时候机身温度比较高，如果夏天在接收状态下开机1小时，机身表面的温度就有点烫手了，即使在春秋季节22℃室温下连续开机（接收状态）1～2小时，机器表面也会感觉明显有热量。但是在

此温度下连续工作10小时以上也没有问题，机器温度不会无限制升高。原则上较高的温度可以提供较好的稳定性。在HAM手里，电台的更新周期远远长于手机。IC-7000的集成度很高，除了常见的简单故障外，第三方维修人员很难做到元件级的硬件维修。

IC-7000的简易频谱扫描功能由于采用了彩色液晶显示器，所以样子要比IC-706好看得多。至于实用性，笔者个人觉得不高，在工作的时候扫描过程会干扰正常的接收，会发出“咔咔”的声音，尤其是高速扫描频谱的时候，加上本身显示动态有限和短波背景噪声高，所以几乎没人把这个频谱功能一直打开着使用，更不能算是监测频谱的好工具。对于喜欢看频谱图的朋友，IC-756proⅢ以上级别（最好是IC-7700以上）或FT-2000（附加DMU-2000） 以上级别的设备才是比较实用的选择。如果你想拥有专业级真正强劲的短波频谱显示和监测，R&S EM510接收机才是真正实用的选择，当然这是另外一个应用层次了。

使用感受

1. 话说接收

由于应用的定位和体积的限制，IC-7000没有设计复杂庞大的预选器电路和高动态接收电路，与大型的基地式台式电台相比有一定距离。就像汽车设计定位一样，要希望一辆CRV汽车具备强劲的越野性能是不实际的。因为IC-7000本身不是设计为比赛用机，更不是高性能接收机，正常车载或移动通信中一般不需要从一堆繁杂重叠的信号中搜寻细小的信号，所以它的接收动态并没有做得很高。搭配ICOM惯用的手动P.AMP（前置放大）和ATT（衰减）功能，利用“人工智能”（这里指：操作者自己的判断）来提高整机的接收增益范围，当基地台用也没问题。所以IC-7000尽管使用了DSP科技，但它并不能跻身一部高性能接收机的行列。如果本来冲着低噪声、超高接收性能来的用户，你一开始就选错了对象，在业余机中，ICOM更高阶的IC-756PRO Ⅲ、IC-7700、IC-7800，还有IC-775DSP台式电台才是正确的选择。

不是说IC-7000使用了DSP技术提高接收性能和降低噪声吗？是的，但这不是绝对。以目前的技术水平，DSP信号处理尚不能完全取代传统的由线圈构成的物理滤波器电路，对于只使用到中频DSP的机器更是如此。在高频输入前端如果设置了分段滤波器，可以对带外信号进行有效衰减，提高输入信号的选择性，在专业接收机上也叫“预选器”。当然理论上该滤波器带宽越窄，越接近有用信号，实际占用带宽越好，这也是有些高端机力求实现的，YAESU FT-2000以上级别电台支持的μ-Tuning Kit就是基于这个原理。高选择性的前端在信号拥挤和邻频信号干扰严重的情况下作用明显。对于业余电台应用来说，最典型的应用就是在比赛中从一堆拥挤的信号中分辨出有用的信号。在业余电台更高端的设备中虽然搭载了更高阶的DSP处理系统，但对于传统滤波单元非但没有简化反而特别予以加强。大家可以看一下，一些高端机的广告中关于高性能接收滤波电路（由传统线圈构成）特点的介绍比重反而超过DSP的介绍。在一些小体积的设备和入门级设备中，限于空间和成本，这些以线圈为主力构成的滤波线路往往被简化或省略了。对于十分关注接收性能的用户，建议你购买大体积、具备高品质前端滤波单元和高规格Roofing filter的机器，因为它们的设计要求和理念都与小机器不同。甚至一些老式的高端机、旗舰机的接收性能还优于现在不少看似功能众多、很“高科技”的中高档机型。即使目前最高水平的数字化短波接收机可以直接数字化处理高频信号，它在A/D信号转换前依然建议采用基于传统电路的预选器电路，并不完全靠DSP来处理信号，尽管它配备的DSP单元处理能力远非业余电台机型可比。

如果你向往真正顶级的接收性能，那么普拉特公司、罗德施瓦茨公司的专业接收机才代表当今世界最高水平，与个人业余电台相比，它们会带你进入一个全新的境界。当然他们的价格将远远超过IC-7000，在专业的领域，一两万欧元的设备只能算入门级，因为这些顶级产品的主要客户并不是个人业余无线电爱好者。DSP的软硬件发展技术就像电脑一样，这些目前看来很尖端的科技也会慢慢移植到民用设备中，或许我们会在下几代的业余电台中看到他们的身影——软件无线电。

IC-7000中的VSC（语音静噪控制）功能非常实用，它能让你在短波SSB模式中体验到UV波段FM通信使用静噪功能的感觉。大部分短波电台也有SQL功能，这是通过判断接收电平信号强弱来控制音频电路是否开启以实现静噪功能的，这种方式在载波信号稳定的FM模式中效果很好，而在信号幅度变化很大的SSB模式中效果很差。使用传统SQL几乎只能接收很强的SSB信号，所以基本没人去用这个功能，SSB模式大部分守候状态

下只能任噪声肆掠。VSC则是通过判断信号是否被调制来控制音频电路的开启，这样一些较弱的SSB信号也能很好地、稳定地打开静噪，而一些没有调制的短波干扰信号，虽然信号强也不容易打开静噪。该静噪模式在专业短波电台如CODAN系列产品中很早就被应用，叫做“Voice Mute”，并成为用户津津乐道的实用功能，现在ICOM的业余电台产品上也具备了类似功能。有了这一功能，即使24小时守候也不会感到“吵”了。

总的来说，IC-7000的收发性能在常见的中档电台中表现出色，尤其是其IF DSP处理技术降噪效果明显优于一些AF（音频）DSP的机器。我们用一台老款小体积的TS-50S电台与IC-7000作接收对比，在接收小信号时使用信号源测试两者基本相当。而实际听感方面，在嘈杂的7.050MHz接收空中实际信号，TS-50s略胜一点，但当IC-7000收到较小信号并开启NR功能后，弱信号伴随的噪声大幅下降，语音可辨度也有明显提升，接收效果与TS-50S拉开了档次，信噪比提高了，话音就凸显出来，实际上S表上的信号指示并未增加。但对于那些时隐时现的微小信号，NR功能作用似乎不大。

对于热衷于CW的用户，IC-7000不必让你掏更多银子去买上百美元一枚的CW窄带滤波器，通过DSP系统可以提供多种窄带中频带宽功能，甚至可以提供更窄通带的选择，这对CW通信中削弱相邻干扰有非常实用的意义。对于普通业余电台用户，IC-7000在中档机或者小而全的设备中还是不错的选择，作为车载电台更是为数不多的好选择。

关注接收性能的朋友除了关注接收机性能外，也很关注天线的性能，再好的短波接收机搭配一条十几米长的长线天线也很难有好的表现。对于玩专业接收的可能五单元八木天线才起步，Antenna farm（天线农场）才是“王道”，同时周边的电磁环境也很重要。

2. 话说DSP

IF DSP是IC-7000最大的技术卖点，也是最早将DSP用于中频（IF）的小型业余电台机种之一。很多业余电台爱好者对DSP的理解就是数字化高科技、高档电台的代名词，可以有效地消除噪声，大幅提升接收效果。其实不尽然。首先，DSP是Digital signal processing的缩写，中文意思是“用于数字信号处理的可编程微处理器”，“降低接收噪声”只是我们希望它实现的效果之一。我们可以把它理解为“可以用来执行特定功能的专用电脑处理器”，说它是电脑因为不同的DSP硬件芯片同样有处理速度之分，DSP硬件芯片必须搭配特定的软件才能工作，软件决定DSP硬件系统的功能，相同的DSP硬件搭配不同的软件可以实现不同的功能。

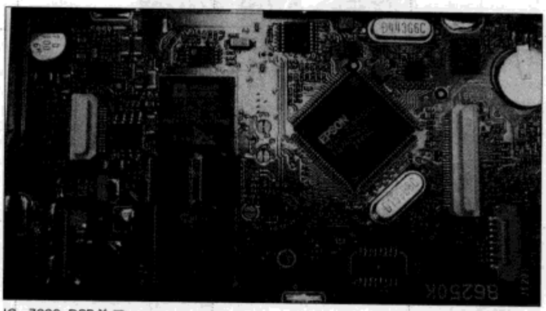
说起电脑，老掉牙的286、386是电脑，586奔腾以及现代的迅驰、双核、四核都被称为电脑，它们的区别在于运算速度和价格。一台酷睿2电脑和一台386电脑的处理效率不可同日而语，一些功能强大处理效果好的软件在酷睿2电脑上可以运行自如，而在386电脑上就运行不起来，或者运行速度极慢。DSP硬件芯片也是一样的情况，不同档次的DSP芯片处理速度和能力不一样，内存通道带宽不一样，当然价格也不一样，高端的DSP芯片虽然性能强悍，但价格很高，有的单片芯片就要数百美元。制造DSP芯片的厂家有很多，同普通电脑中Intel和AMD CPU一样，不同厂家和系列的DSP芯片的实际处理性能的高低不能单凭其工作频率来直接比较。另外，优秀的软件也要很大的初期投入，电台厂家制造产品都要考虑成本，要在性能与成本中取得妥协。

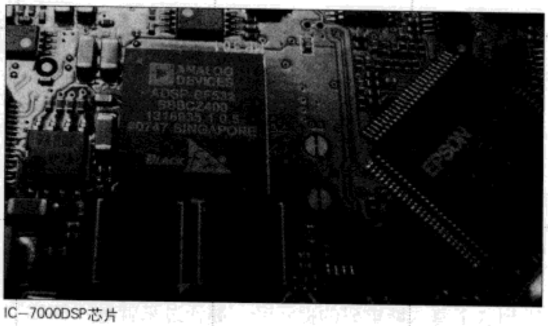
在电台中使用DSP还要注意信号处理的实时性，不能有太大的时延，所以在DSP硬件处理速度有限的情况下，一些复杂的算法虽然效果好，但也只能放弃，除非换用成本更高，处理能力更强劲的DSP芯片。同样都是标称采用DSP的电台，使用的DSP硬件芯片档次可能有很大的差距，同时使用软件的执行效率和具备功能也有不同，这就造成了DSP系统处理能力和效果的显著差异。

DSP代表了一种新技术的使用，就像集成电路代替分立元件、贴片元件代替传统元件一样，并不是高档高性能的代名词。目前引入DSP系统的中档商用短波电台在性能上与以前传统设计的高档短波机相比，各类收发性能并不全面占优，制造厂家乐意见到的是生产自动化率和品质控制的提高以及成本的降低，同时在数字化时代有更多的宣传卖点。

另外，最近民用广播收音机应用也向DSP芯片发展，很多著名生产厂家都推出了基于DSP处理芯片的收音机，价格都不贵，性能和价格都定位于中低档产品。

我们来看看IC-7000的DSP系统，它由2片Analog Devices公司Blackfin系列的ADSP-BF532构成。该DSP芯片具备最高400MHz时钟速度，最高800MMACS处理能力，以及16bit的内存带宽，广泛应用于很多消费类电子音频视频多媒体设备中。ADSP-BF532SBBCZ400市场售价在10美元（千片批量）左右。另外市场


IC−7000 DSP单元


IC−7000DSP芯片

上宣传内置400MHz的 IF DSP处理的YAESU FT−450使用的也是同系列的ADSP−BF531 DSP芯片。

在IC−7000中使用DSP技术给我们带来的好处实实在在看得见：由于DSP技术应用到中频，这样就可以使用软件数字中频滤波器，避免使用昂贵的专用机械滤波器。AGC环路也可以被DSP所控制，提供更强大的工作模式。通过DSP可以实现多种软滤波器功能对信号进行处理，降低噪声，提高信噪比。IC−7000提供了可多级调整的两点MNF和NR以及NB功能。IC−7000的降噪功能十分明显，相信每个使用过的人都会有印象，尽管这种处理对原始语音也有一定影响。目前降噪技术还处于发展阶段并不完美，并不能神奇地将时隐时现的3&1信号品质提升到清晰强劲的5&9效果，只能说“在特定有限范围内改善”而已。如果你给IC−7000外加一个ADPS2降噪扬声器的话，依然会感觉这个专业音频处理DSP降噪扬声器的作用。对比一下专业Codan NGT短波电台的Easitalk 功能，你会感到基于DSP的降噪技术发展前景广阔。限于成本和技术，目前装备DSP处理系统的业余电台并不能由此获得接收性能的大幅提升。DSP作为信号处理技术也并不局限于降噪应用，如果你想感受一下目前国际领先水平的数字化接收机，那么罗德施瓦茨的EM510一定会让你有新的认识。

总体看来IC−7000是一部小而全的多功能电台，收发性能中偏上，特别适合移动场合，符合厂家的产品定位。IC−7000作为车载电台和户外活动移动电台值得大力推荐，即便在家里已经拥有了IC−756PRO Ⅲ以上级别的基地电台，作为新手的第一部多功能短波电台也值得推荐，它不会让你与别人通联中在硬件上觉得缺少什么，作为老手的备用电台也值得考虑，IC−7000作为多面手在很多场合都能顶得上。如果你已经有了IC−718、TS−450、TS−50之类的中档电台，想增添具备高接收性能的设备，那么花更多的钱去考虑IC−756PRO Ⅲ以上级别的大型电台才是正确的选择。如果你要尝试顶级DSP系统的卓越性能，如每秒上千次的频率扫描、监测级的频谱显示、敏感的信号发现与捕获、全面高效的信号特征分析，那么顶尖的数字化接收机才能满足你，那就不是业余机的范畴，在准备高额费用的同时你还要架设一套好的天线。Ⓦ

附表 IC−7000 技术指标

接收频率覆盖	0.030～199.999999 MHz 400.000～470.000000 MHz				
发射频率覆盖*	1.800～1.999999 MHz 7.000～7.300000 MHz 14.000～14.350000 MHz 21.000～21.450000 MHz 28.000～29.700000 MHz 144.000～148.000000 MHz 430.000～450.000000 MHz	3.500～3.999999 MHz 10.100～10.150000 MHz 18.068～18.168000 MHz 24.890～24.990000 MHz 50.000～54.000000 MHz	5.260～5.405000 MHz		
调制模式	USB，LSB，CW，RTTY（FSK），AM，FM，WFM（WFM仅供接收）				
频率稳定度	优于 ±0.5 ppm （0℃～50℃）				
发射功率	1.8～50 MHz 波段 2～100 W 1～40 W(AM) 144 MHz 波段 2～50 W 2～20 W(AM) 430 MHz 波段 2～35 W 2～14 W(AM)				
接收灵敏度（前置放大器打开）		SSB/CW/RTTY	AM	FM	WFM
	0.5～1.8 MHz	–	13 μV	–	–
	1.8～28 MHz	0.15 μV	2.0 μV	–	–
	28～29.995 MHz*	0.15 μV	2.0 μV	0.5 μV	–
	50 MHz band	0.12 μV	1.0 μV	0.25 μV	–
	76～108 MHz	–	–	–	10 μV
	144/430 MHz	0.11 μV	1.0 μV	0.18 μV	–
信道存储数量	503				
天线接口	SO−239×2，HF/50 MHz 和 144/430 MHz各一个，阻抗50Ω				
工作电流参数	100 W全功率发射：22 A 接收守候状态：1.3 A 接收最大音量输出状态：1.6 A				
体积	167(W) mm × 58(H) mm × 180(D) mm （不含突出物）				
重量	2.3 kg				

*发射频率范围根据不同销售地区版本不同。

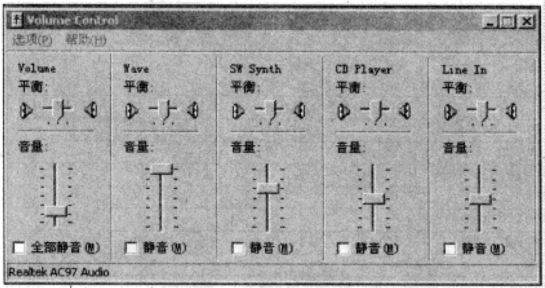
图解手机火腿铃声DIY

◎阮东升（BA6QH）

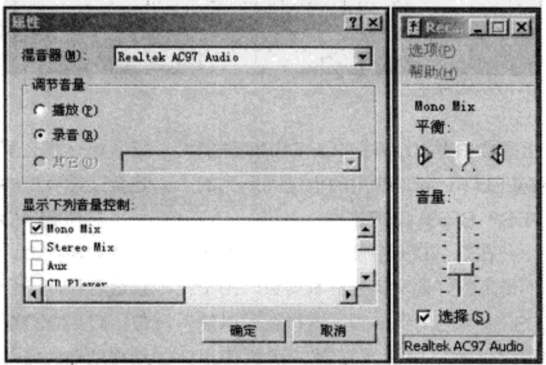
“嘀嘀嘀 嗒嗒 嘀嘀嘀”，拥有诺基亚手机的朋友对这声音再熟悉不过了，每当收到手机短信时就会听到这个莫尔斯电码的提示音，翻译过来就是“SMS”意即短信息服务。为什么这个品牌的手机会选择用莫尔斯电码来做短信提示音，据说诺基亚公司的设计人员中有不少就是“火腿”，他们将自己的爱好与工作很好地结合起来。现在市面上各种手机铃声层出不穷，对于我们“火腿”一族而言，能够制作使用一款突出自己爱好的手机铃声，更能体现出与众不同的个性。笔者最近给自己的手机DIY了几款铃声，来电时即用莫尔斯电码发出自己的呼号，每每引起路人侧目，使人感觉很炫很酷，好东东不敢独享，下面就请跟随笔者一起来一次“另类”的DIY吧。

首先，要选购一款能够播放MP3的手机，现在市面上的手机差不多都具备该项功能，并不是说越高档的手机越好，笔者所使用的手机也只是几百元的低端产品。

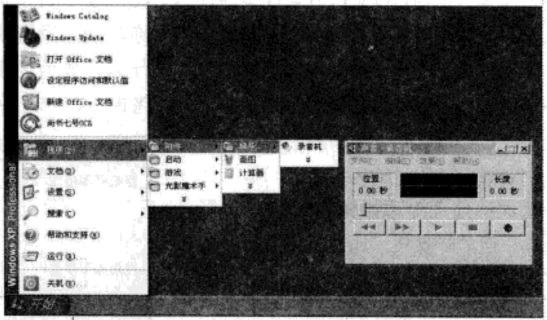
其次，要准备两款软件：一是能够产生莫尔斯电码声的软件，这里笔者使用的是法国F6DQM开发的一款CW练习软件cwplayer。该软件不仅能够产生莫尔斯电码，而且可以作为平常练习CW使用；二是需要一款音频转换软件，可以将wav格式转化成MP3格式，笔者使用的是AltoMP3 Maker v3.20 汉化注册版，该款软件在音频转换上非常方便快捷。



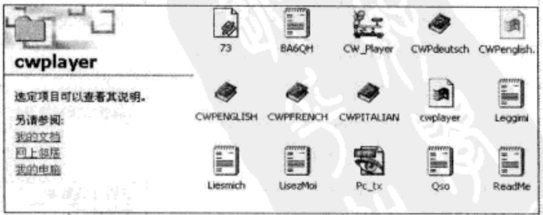
01 双击电脑右下角任务栏上小扬声器图标，会出现此界面。



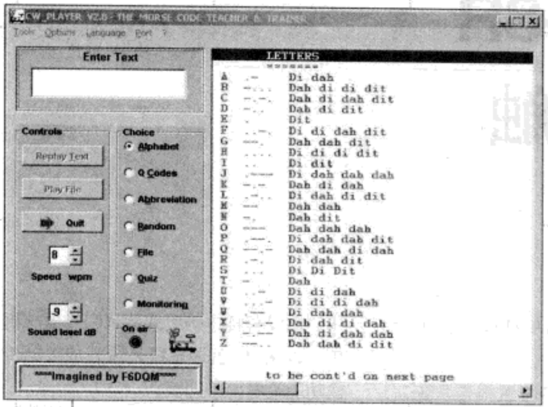
02 点击图1左上角选项里的属性。在“调节音量”里选择“录音”，在“显示下列音量控制”里选择“Mono Mix”。



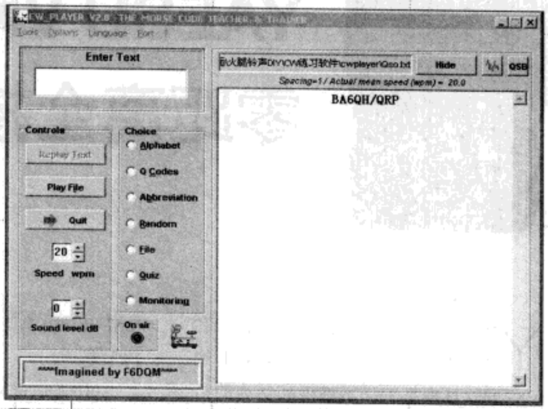
03 点击开始—程序—附件—娱乐—录音机，下面我们将会要用到它的录音功能。



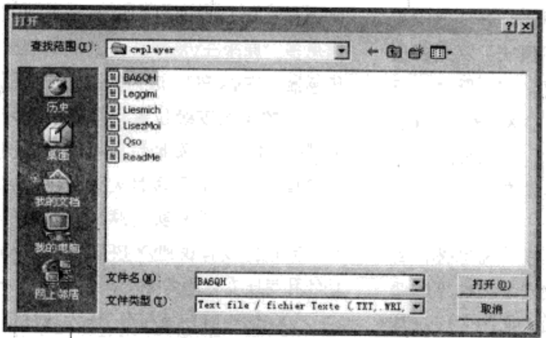
04 从网上下载cwplayer软件，解压后打开cwplayer文件夹，并新建一个BA6QH.TXT的文本文档，在文档里输入想要的文字，这里输入的是BA6QH/QRP。



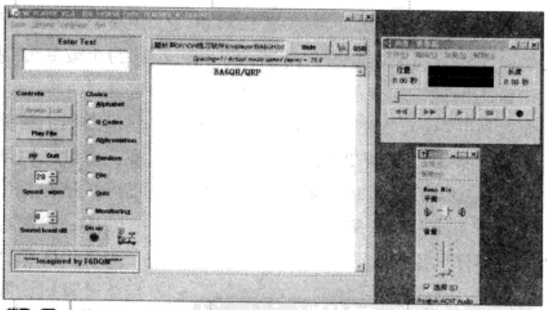
05 点击04步骤中那个电键的图标“CW_player”，出现此界面。



07 将“Speed wpm”调到自己认为合适的速度，这里选择的是20，“Sound level dB”调到0，另外在文本框里的文字要往中间输入一点，这样在点击播放后有一点缓冲的时间可以点击“录音机”上的录音键。



06 选择“File”，会出现此界面，选择我们刚刚新建的BA6QH的文档点击打开。



08 将以上这些界面集中在桌面上，先点击Play File键开始播放，再点击录音机上的录音键进行录音，录制时可以调节音量滑块直到满意为止。

将录制好的文件保存，该文件是wav的音频文件，还需将其转换成MP3的格式。笔者使用的是AltoMP3 Maker软件，转换后的MP3文件就可以保存到手机中并设为来电铃声。当然，也可以根据不同的来电多设置一些不同的来电铃声（如笔者将短信提示音设为了《演奏天籁之音的使者》一文中的天鹅湖曲调，将妻子的来电设为XYL等），本地一火腿在使用这些莫尔斯电码来电铃声后称，现在走在路上每当来电时“美眉”的回头率极高，甚至有“美眉”向其询问如何下载这些铃声，让这位火腿朋友很是得意了一番。

对“手机火腿铃声”感兴趣的读者，可到本刊网站了解本文作者提供的几种莫尔斯码手机铃声的免费获取方式。

本文软件下载网址：

cwplayer：*www.radio.com.cn*

AltoMP3 Maker V3.2 汉化注册版（最新版本为V4.0）：*www.skycn.com/soft/1799.html*

YAESU VX-8R零距离全接触

◎杨法（BD4AAF）

YAESU八重洲公司是业余电台知名器材制造厂商，其前几年推出的VX-7R以其卓越的防水性能和优秀的扩展功能成为业余电台界公认的高端手持对讲机，有一代“机王”的美称，并在国内具有一定的保有量。随着时间的推移和科技的发展，其他业余电台厂家也纷纷推出了新款高档对讲机，不但具备防水特性外还将数字化语音的新操作模式引入业余无线电。面对新品挑战，YAESU公司在2008年下半年推出了其新款旗舰级业余手持对讲机VX-8R，同时也更新了其产品线，在手持台、车载移动台、短波台方面都有新品推出。

VX-8R特性

VX-8R作为旗舰新品，取代了原来VX-7R的地位，VX-8R采用了很多全新的设计，包括外观和操作，紧随时代步伐提升了产品的数字通信功能。VX-8R的亮点如下：

- 全新超薄紧凑设计
- IPX7级防水特性
- 三波段发射，支持双频率同时接收和宽带接收机功能
- APRS自动电台位置报告系统
- GPS全球卫星定位功能（选件）
- 支持内置蓝牙通信组件（选件）
- 内置电压、温度、气压传感器
- 内置中波AM广播天线
- 锂电池供电

VX-8R采用超薄设计，在目前5W发射功率级别的机器中在厚度和重量上占优。

APRS是自动电台位置报告系统，利用该系统可以在地图上显示出有实用意义的位置信息。定位数据需要GPS选件实时采集。GPS定位功能要求VX-8R安装GPS接收模块FGPS-2(12通道并行接收)，该GPS模块可以安装在机身上或专用的MH-74A7A手咪上。与普通对讲机不同的是，VX-8R可以直接显示GPS的解算数据，包括经度、纬度、速度、高度、运动方向，并可以进行APRS数据传输。

VX-8R将蓝牙无线系统也整合到了对讲机内部，通过安装选件可以使用蓝牙耳机话筒通话，摆脱了传统耳机线的束缚。由于蓝牙模块在设计上是在整机内预留位置，所以是完全内置安装，不像附加型的蓝牙耳机收发器，需要占用机器的外接耳机话筒接口，并拖出一个小尾巴来。有的爱好者马上会想到，通过蓝牙系统与第三方公司的通用蓝牙GPS模块连接，这样就不用购买YAESU原装的GPS模块而且还是无线连接。遗憾的是，YAESU的官方资料上并没有介绍此用法，也没有官方的无线蓝牙GPS模块出售，VX-8R的蓝牙系统是否开放数据传输功能笔者尚不知晓。

GPS模块安装

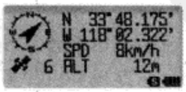
VX-8R具备电压、温度、气压传感器。有经验的用户可以通过数字电压显示来估计剩余电量，通过此法远比通过机器自带的电量指示器得到的信息多。原来在VX-7R中是选装的气压传感器，在VX-8R上成为内置标配！机器后部的预留安装位置用来安装蓝牙模块BU-1。通过测量气压可以推测相对高度变化和预测短时天气变化，这对户外运动者颇有实用意义。遗憾的是，我们并没有找到VX-8R的天气预测功能和气压变化趋势显示。

VX-8R内置中波AM广播天线可以有效地改善低频率的AM广播接收效果，使得VX-8R在闲暇之余也是一部不错的收音机。

VX-8R并没有涉及数字语音方面的功能，即所谓的数字通话模式。

VX-8R外观特性

第一眼看到VX-8R外观给人的印象是VX-3R的扩大版，外观与上一代产品VX-7R变化甚大。整体采用带有棱角的设计给人硬朗的感觉，略带有军用机的味道，要知道很多HAM都对军用产品有很深的情结。VX-8R外型最大的特点是薄，厂家提供的数据为60mm×95mm×24.2mm（使用随机标配的1100mAh的



GPS数据显示画面

传感器信息界面

FNB-101Li），标准重量240g，比VX-3R 23mm的厚度只增加了一点点，而VX-7R的厂家数据为60mm×90mm×28mm。别小看了这几个毫米级的差异，拿在手里感觉完全不一样。取下背夹将机器放在胸前的口袋里感觉很好。

VX-8R外壳为黑色，没有采用VX-7R那样的金属外壳，所以没有掉漆的后顾之忧。VX-8R采用何种材质尚没有官方的资料，不过笔者按照工业跌落试验从1.2m高度自然跌落到混凝土地面10次，机器未见明显损伤，电气工作特性正常。

VX-8R的按键采用类似2R/7R的胶质半透明按键，夜间配合背景灯光操作非常容易，按键行程较短,手感一般，是否会像2R按钮一样容易掉漆有待观察。VX-8R的天线与VX-7R类似，标配是比较长的橡胶天线，并可以安装用于50MHz发射的匹配单元，接口与2R/3R/6R/7R一样还是SMA。相信大部分HAM玩家都会考虑增配一条短小便于携带的小型天线或者远距离发射的高增益长天线。这里需要提醒大家的是，VX-8R SMA天线座外的橡胶件为内凹设计，直径不是很大，原配天线自然没有问题，但比较粗一点的第三方天线就可能装不下了。笔者自己使用IOO牌的手工短天线安装时已经非常勉强，实测由于该橡胶件的存在只能安装底部直径小于13.5mm的天线（原配天线底部直径为12.7mm），由此一些常用的进口名牌天线都被排除在外，除非你愿意动手剪去橡胶件的突起部分！

VX-8R标配电池的容量为1100mAh，比VX-7R配置的1500 mAh小些。VX-8R实测待机电流在双频守候时约140mA，单频守候时约110mA，单频道有效接收中等音量输出的情况下耗电180mA左右。实际使用中还会启动接收省电功能，通过间隙接收进一步降低守候状态下的功耗。VX-8R在高功率发射的时候实际耗电会达到1.7~1.9A（依据不同波段和天线而定）。

VX-8R的电池结构与6R/7R不同，采用前后板设计。这样的设计优点容易控制机身的总体厚度，也容易制作加厚的高容量电池。电池与机身连接的方式采用顶部卡勾设计，安装非常方便，只是取下有点困难。类似的结构以前在Motorola的MTX838、HT1000、MTS2000见过，VX-8R标配的是7.4V 1100mAh的FNB-101Li薄锂电池，可以选配1800mAh的FNB-102Li的高容量电池，此外还有FBA-39型安装3节普通AA电池的电池盒。VX-8R的电池也是专用的，没有像2R/3R那样有廉价的兼容产品。VX-8R标配的充电器是NC-86C线充，输出为12V/1000mA，可见锂电池充电控制电路是内置于对讲机内部的。NC-86C线充外型类似普通移动电话的充电器，为开关电源结构，比以前使用的变压器充电器在体积和重量上大为改善，带上出远门的朋友可有福了。在使用线充连接对讲机充电时，VX-8R会显示图形化的充电进程，尽管显示精度不高（估计以后固件可以改进），但比起VX-7R有不小的进步。按照官方说明为随机的1100mAh的FNB-101Li电池充电需要5h左右。厂家也推出CD-41座式快充，也是8R专用的，与6R/7R不兼容，充电时间约2.5h，同时也是VX-8R一个理想的“窝”。VX-8R充电确实有点两难，一直用原配线充电吧，怕那个充电口上的橡胶盖寿命不长，把电池拿下来用高档模型充电器充电吧，又怕电池板上两个塑料卡勾的寿命，想来想去还是买个座充保险。

VX−3R与VX−8R

厚度比较，中间的是VX−8R

VX-8R操控系统

VX-8R的按键布局采用更为人性化的排列，除了主体的3行×5键的数字和功能键盘区外，一些功能键分布在机身周围，键盘可以直接输入频率。控制A/B波段选择和显示模式的键就在显示屏边上，兼具该波段的收发状态指示，直观易用。常用的F/W键被移到侧面，使用起来更为方便。

VX−7R与VX−8R

实测8R厚度

VX-8R顶部只有一个单独的步进可调节按钮，并没有使用常见的套筒同轴型双功能电位器，切换频率和音量都要靠侧面的VOL、F/W键配合，刚上手用很多人会感觉不习惯。VX-8R的步进旋钮与VX-3R在外观上类似，但没有3R那样的“按下锁定”功能，旋转起来也比较紧，放在口袋里基本不会误动。而且默认状态下该旋钮用于音量调整，所以不容易发生旋钮误动导致工作频率跑偏的情况。VX-8R的音量和静噪都是数字化控制，静噪水平调整操作有快捷方式，与7R类似。

机身的左侧安排有胶质的PTT（发射）、Moni/T-Call（监听/呼叫）、VOL（音量）、F/W（功能/写入键）4个按键，比常见的对讲机多。

机身的右侧分布有外部电源插孔和耳机插孔，覆盖橡胶盖用于防水防尘。按照官方说明书的描述，VX-8R可以在4~14V电压之间工作，当外部电源在11~14V时，机器会为电池充电并在机器屏幕上显示充电进程。随机原配的NC-86C线充输出规格为12V/1000mA，你也可以使用允许电压范围内的其他直流电源，包括汽车点烟器上的电源（12V系统）和直流稳压电源。VX-8R耳机输出孔支持普通的三段3.5的立体声耳机，并可以通过菜单选择将耳机线作为FM广播接收天线。VX-8R具备FM立体声解码功能，所以立体声耳机还是很有作用的。同时耳机输出可适用于对通信信号的监听，你可以不必购买专用的耳机用于收听。遗憾的是，耳机输出仅仅是耳机音频输出，并不具备MIC话筒和PTT功能，所以，不要幻想在此安装话筒组。

VX-8R的外接话筒接口绝对与众不同，不再使用3.5插座，采用类似航空插座的形式位于机器的顶部，连接GPS单元也是通过这个接口，其优点是更耐插拔和具有更好的防水性。遗憾的是，这种接口没有与市面上哪款对讲机通用，以后要买外接话筒和编程电缆都必须购买专用品。

VX-8R提供多达111项菜单设定功能，菜单按照项目开头单词字母顺序排列，比VX-7R的按类型排列更方便寻找。菜单显示依托点阵显示屏以列表形式提供，进入菜单系统通过长按MENU键即可。MENU键同时还是GPS显示状态和APRS状态切换键，在GPS或APRS模式下长按MENU键会进入专属的24个对应专用设定菜单。

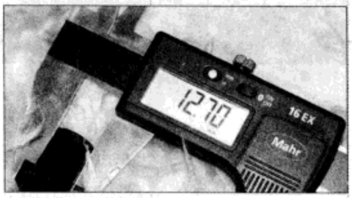
VX-8R发射性能

VX-8R标称为三波段手持收发信机，在业余波段50MHz/144MHz/430MHz都可以发射，根据不同销售地区的法律法规，在机内已经事先具备了各种频率范围的组合模式。笔者得到的这台样机是美国版本，所以除了上面提到的3个常规的发射波段外，还外加一个222MHz波段发射，该波段的最大发射功率为1.5W，其实222MHz波段在国内并没有使用价值。大家关心的在50MHz/144MHz/430MHz业余波段的发射功率标称都可以达到最大5W，同时还提供L3/2.5W、L2/1.0W、L1/0.05W的低功率模式，发射模式有常规的16KOF3E（普通的调频）和8KOF3E(窄带调频409那些公众对讲机所用的发射制式)。在50MHz波段VX-8R还提供有一个1W的AM调制模式输出。

笔者测评的这台美国版的VX-8R实际发射范围为50.000~54.000MHz、140.000~173.995MHz、420.000~469.995MHz，超出发射范围屏幕会显示ERROR（错误）提示。与7R类似，在固件中我们看到依然有广大HAM所关注的Free Band模式，原理上可以同样通过软件或硬件设定不同的工作范围模式。

笔者测试了在7.5V电压下VX-8R在我们国内主力业余频段上的发射功率，见表1、表2。

机身左侧



实测原配天线底部直径

VX–8R的充电状态

VX–8R的按键布局

我们使用稳压电压模仿7.6V常规电池供电状态，可以得到更好的电压稳定性，用R/S NRT通过式功率计配合负载器测试其输出功率。由测试可以看出，机器主要保证业余频段功率，在频段的两端自然衰落。如果你使用充满电的电池，功率会再提高一些，不过锂电池充满时的高电压并维持不了多少时间。

对希望上中继的用户，VX-8R具备完整的CTCSS和DCS编解码系统（亚音和数字亚音），甚至连数字亚音的反编码功能也都具备，普通的MOTOROLA专业机也不过如此配备。VX-8R具有亚音扫描功能，你可以通过它侦测其他人通信所用的亚音和数字亚音编码。

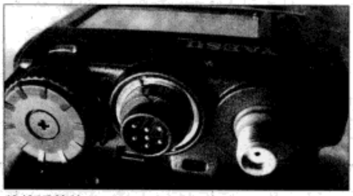
表1 144MHz频段

频率	140	142	144	145	146	147	148	150	155	160	165	170
功率	4.70	4.70	4.85	4.86	4.85	4.84	4.84	4.71	3.14	2.02	1.11	0.69

表2 430MHz频段

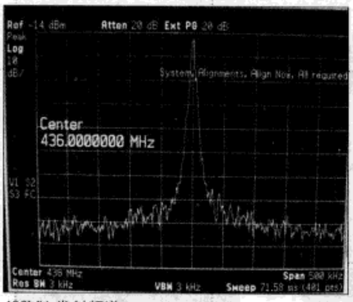
频率	420	425	430	433	435	436	440	445	450	460	465	469
功率	2.84	3.55	4.15	4.26	4.35	4.36	4.44	4.59	4.65	3.62	2.88	2.46

VX-8R天线接口



外接话筒接口

菜单系统



436MHz发射频谱

VX-8R接收性能

VX-8R具备宽带接收功能，接收频率覆盖0.5~999MHz，提供常见的AM、FM、N-FM、W-FM模式解调功能。VX-8R内置AM天线，支持FM立体声解调。如果仅仅用于收听，可以使用VX-8R右侧的耳机插孔，使用普通3.5插头的立体声耳机即可，不用购买价格不菲的原装附件。VX-8R虽然是紧凑型设计加防水设计，但扬声器的输出音质还算不错，声音清晰洪亮略带高音，即使开到最高音量也没有爆音。

VX-8R厂家给出的各波段灵敏度指标都很不错，有些版本的机器在有些波段根据销售地区的法律法规给予屏蔽，在机器的底部有擅自扩频违法的警告字样。笔者手里这台美国版的VX-8R的接收频率是连续并没有被限制美国移动电话频段，看来被经销商已经技术处理过了。

笔者实测了VX-8R在2m和70cm波段的实际灵敏度，灵敏度相当好，见表3、表4。

笔者测试了VX-8R的S信号强度表，共分9段显示，显示图案可以在菜单中选择。笔者测量了S表起始显示到满信号表显示的电平，分别是-115dBm和-95dBm，跨度水平与VX-7R相当，属于比较实用的信号表，不像有些产品的信号表，实际测量跨度很小，很容易“满表”，给人信号很强时机器灵敏度很高的假象。同时，VX-8R还可以通过菜单选择约10dB的内置ATT衰减器，这对简易测量一些空中较强的信号有一定帮助。用了这个ATT衰减功能还是满表怎么办？那就外接更大衰减量的衰减器吧。

VX-8R设计了时钟系统偏移功能，可以使不同频率的CPU时钟避开对特定频点的干扰。

因为VX-8R有内置磁棒天线，所以AM中波广播的接收效果很好。至于AM短波接收,建议采用50cm以上长度的橡胶天线或者拉杆天线，有条件的可以考虑1~2m的线天线（就是将1~2m长的导线直接焊在SMA插头上就可以了）。收听短波广播建议靠近窗户或于户外。VX-8R原配的天线在窗口也能收到强信号短波广播的信号，效果不是很好。收听短波广播不是VX-8R的强项。VX-8R内置有一个特殊频率区，包括10个美国天气广播频率、海事水上VHF全频道、89个流行的短波广播频道，实际上对于国内HAM来说，除了水上频道外，其他两项实用意义不大。

VX-8R还具有频谱功能、频率存储功能、开机密码功能、CW训练功能、时钟功能等。

总的来说，VX-8R是一款新时代、新技术的多功能多波段业余对讲机，不但适合无线电发烧友，也是户外活动爱好者的好选择。

表3 144MHz频段（dBm）

频率	140	142	144	145	146	147	148	150	155	160	165	170
灵敏度	−123.0	−123.1	−123.2	−123.2	−123.2	−123.1	−123.2	−123.1	−122.2	−122.4	−122.2	−121.8

表4 430MHz频段(dBm)

频率	400	410	420	430	433	436	440	445	450	460	465	469
灵敏度	−122.3	−122.4	−122.4	−122.6	−122.6	−122.6	−122.5	−122.4	−122.4	−122.3	−122.3	−122.2

巾帼不让须眉

——中国业余无线电界的女“火腿”

◎焦亮梅（BD1AYL）

纵观国内外业余无线电界，女火腿真是凤毛麟角。虽然是少了一点，但毕竟还有内容可说。笔者欲乘三八妇女节来临之际，盘点一下中国的女火腿。

旧中国并不注重女权，又由于兴趣使然，因此女子涉足科技界不多，业余无线电界则更少。但是中国的业余无线电家们却非常开明，极力欢迎女士参加业余无线电活动。例如1934年CARU（中国业余无线电社）会刊《QSP》专门刊登李悦英前辈的文章《妇女业余家》（见图1），该文章编者的附言表达了男火腿对中国女性的热诚希望：“在现今男女有同样发展的机会，我们业余无线电界当也不能例外，但是我们中国呢？业余无线电正在萌芽时期，男的已很少更别说妇女！所以本刊特辟此一页专载世界各国的YL（业余界通称年青女子能执键发报者为YL，YL即young lady，YG也包含在YL内的）希望因此能引起国内妇女界有志者的兴趣，这是很期望的！”（YG是young girl的缩写）。

20世纪初，中国女火腿越来越多地出现在业余空中，当然更多的是受朋友或者家人的影响。从现有历史资料看，最早有YL出现在1933年6月建立的位于青岛青年会的青岛业余无线电研究社电台AC3TY业余电台（见图2）。

图3为1935年北京的张德华XU2TJ与洪晶XU2CY两位女业余家，均肄业于当时的北平燕京大学。标题有些偏颇，因为她们二人并不是仅有的。投稿者为中国当时的著名业余无线电家黄小芹，看名字不要误会，他倒是一位先生，曾任中国振中业余无线电研究社副社长。

妇女業餘家

李悦英輯

在現今男女有同樣發展的機會，我們業餘無綫電界當也不能例外；但是我們中國呢？業餘無綫電正在萌芽時期，男的已很少更無論婦女！所以本刊特闢此一頁專載世界各國的YL（業餘界通稱年青女子能執鍵收發報者爲YL；YL即young lady yg也包含在yl內的）希望因此能引起國內婦女界有志者的興趣，這是很期望的！　——編者

左圖是日本第一個領有執照的YL Chiyono Sugita女士。這電台原是她哥哥的，呼號J1DN。但她哥哥在去年故了，她得蒙特許襲用她哥哥原有的呼號繼續工作這個電台。女士祇預備在7mc週帶內工作。

左圖這位女士的呼號是W7DW-F，是W7BCS的令妹她是美國華盛頓YL司機員中之一。

图1

青岛 AC3TY 業餘電台發報機及電話機

图2

图4

图3

图5

图6

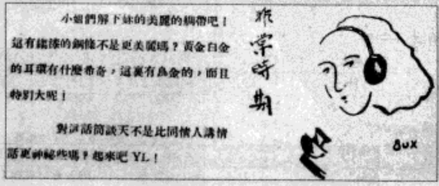


图7

第四期 無線電精華 39

業餘之家

小姐電台
XU8YL
主人：余素馨
設計：朱崧齡
筆者：鄭光祖

前言：在蔚藍色的天空，靈敏的收音機，充滿了OM們的Xu呼號，很粗魯的音調，毫無音韻的聲音，給收聽電台的業餘者聽膩了，無疑的！我們是需要一位美妙的音調來調和這空氣的沉悶。在西洋各國的小姐電台卻有不少，可是在中國真是鳳毛麟角，也可以說是連「毛角」都找不到呢！在四年前著名業餘者譚約翰君曾高聲「吶喊」少女們起來吧！可是沒有少女小姐們來響應，雖然在這四年中間或有一二位小姐電台出現，但大多數是用電碼出現，美妙的聲音還是不能聆到，總不出大家的期望，一位中國小姐風電台終於是出現於二十米波段中，聲音是那麼的美妙，訊號是那麼的穩定，帶着一種很輕鬆悅耳的調子，使大夥們聽到感受一種不可描寫的情調。我想一位愛收聽業餘波段的同志一定是每晚等候着她的訊號，現筆者與該台主人余小姐及設計者朱先生(XU8P..)頗友善，很幸運的能得到了他們的允許，將該台全部情形能在本刊刊出，實屬難得，筆者還要附筆致謝。

第一圖

图8

图9

图10

图1 李悦英前辈的文章
图2 图中操作者为侯莹女士
图3 北京的张德华XU2TJ与洪晶XU2CY两位女业余家
图4《燕大电码班之一部》，左后两排有一些女性参加者
图5 金前辈文中介绍XU3TY（即原来的AC3TY——笔者）电台的插图
图6 金前辈文章中的另一插图“妇女业余家侯曼侠女士”
图7 呼吁YL们起来参加活动的文字
图8 报道XU8YL余素馨女士的文章
图9 江进军在BY9GA会见国外业余无线电爱好者
图10 张玉珍(右站立者)在集体业余电台BY0AA上辅导小朋友进行通联（1986年第1期《无线电》杂志封面）
题图 笔者最近参加北京回龙观HAM联盟活动时和几位女同好的合影，她们都是热心的爱好者(从左至右分别为：BH1AQN赵淑英、BG1CQ王蕾、笔者、BH1CQE佟彤、BD1UUK赵志慧、BH1DAD刘晨)

燕京大学的学生是历史上著名的一二·九运动的组织者和参加者，期间燕大的业余无线电爱好者们为了让更多的人掌握报国的本领，在原物理系开办了电码训练班，后来扩大到全校，继后又成立了燕京业余无线电研究社（简称ARAY），参加活动的女爱好者不少（见图4）。

1936 年 4 月《中国无线电》杂志刊登了老业余家金问淮的文章“介绍几个我们的业余电台”，其中所附插图就有两位妇女业余家（见图 5、图 6）。

抗战期间，《实用无线电》杂志还连续数期刊载了“非常时期”的呼吁，如图7所示，表达了业余无线电界对女士参与活动的期望，激励女士奋发，其文字恳切，比喻也幽默。

1940年《实用无线电》杂志二卷八期还就女士参与业余无线电活动刊登了读者来信，撰稿者为当时的著名火腿谭约翰XU2JT，文章《少女们起来吧》也呼吁：“来吧，Amateur Radio可以更改你的人生观，可以使你快乐，可以使你获得更多的朋友，知心热诚的朋友，然而获得一种有价值的知识，一种努力的目标这是重要的真义！你愿意出来作一个领袖吗？中国正是一个发展很快的孩子，而又同时陷在危险中，‘救救孩子’吧。最后容我以最诚恳的心嚷一声：——‘少女们起来吧！’”。

20世纪40年代《无线电精华》杂志中有关于XU8YL余素馨女士的长文报道，如图8所示，文笔十分风趣。

时空转移，1958年新中国第一座集体业余电台BY1PK开通之后，起来了一批新的女火腿。曾在BY1PK上操作的有秦在欣、刘金玲等，协助做了许多基础性的工作，如访问部分老业余家、整理资料等。“文革”前省市集体电台中第一批的YL有陕西省体委无线电俱乐部BY9SX的操作者刘招桂和张玉梅，他们是当时极少的女HAM。

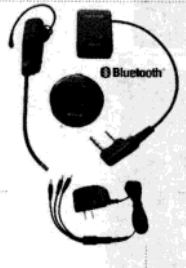
1982年国内重新开放集体业余电台之后，女同胞中值得一提的有大家熟悉的活跃于祖国西北大地的BA9GA江进军和BA0AA张玉珍。江进军所在的甘肃省无线电运动协会集体业余电台BY9GA，是20世纪80年代我国西北地区最活跃的业余电台，由于所在的兰州市地处电台稀少的CQ23分区，所以在国际上也有一定的知名度，吸引着众多外国爱好者的造访（见图9）。在20世纪80、90年代，每次业余电台为重大活动提供通信服务时，BY9GA又因其处于中国中心的地理位置，当时到全国各地都有良好的信号传输，所以江进军女士总是在这样的活动中担负着重要的中转通信任务。个人业余电台恢复开放后，江进军在甘肃地区个人业余电台的管理方面也做了不少工作。

张玉珍女士，曾主持新疆自治区无线电运动协会集体业余电台BY0AA，个人呼号为BA0AA，张女士对在边疆地区普及业余无线电活动功不可没（见图10）。

改革开放之后，特别是个人业余电台恢复开放之后，业余电台如雨后春笋般地在中国大地铺开，女业余爱好者越见增多，因此新时代的全国女HAM已难以概全。笔者在最近参加北京回龙观HAM联盟的一次活动时就遇到了多位(见题图)。巾帼应该不让须眉，让我们更积极努力地投入业余无线电事业，争取在HAM历史中有更多的业绩与建树！

细说VX-8R之蓝牙应用

◎杨法（BD4AAF）


通用蓝牙对讲机耳机话筒

商用蓝牙对讲机耳机话筒三件套

YAESU新款上市的VX-8R提供了蓝牙传输和APRS GPS传输的新特性，本文就VX-8R的蓝牙音频应用进行比较详细的介绍。

VX-8R是业余电台界第一部具备内置蓝牙功能的手持式对讲机。蓝牙音频传输功能在移动电话上早已被广泛应用，由于其通过无线电波传输的方式使得耳机摆脱传统传输线的困扰而广受前卫用户的喜爱。蓝牙在对讲机中的应用并不多见，在专业对讲机上出现过基于蓝牙传输的无线耳机话筒组，但由于属于附加套件，对讲机必须外接蓝牙收发器多有不便，所以实际应用场合不多。即使在需要隐蔽通话的场合中，由于早期的蓝牙耳机话筒组需要增加多个充电设备（适配器、耳机、掌心PTT都需要独立充电），所以大家还是偏向于传统有线隐蔽耳机话筒组。

VX-8R作为内置蓝牙模块的对讲机，搭配配套的蓝牙耳机，使得整合性和易用性有了显著的提高。首先内置的蓝牙模块使得对讲机不再需要“外挂”的设备，其次PTT和耳机话筒合一的设计使得8R使用蓝牙系统只需要增加一个充电设备，尽管操作PTT时隐蔽性稍差。

VX-8R的蓝牙组件BU-1、和蓝牙耳机BH-1、BH-2都是以选件形式提供，目前国内BU-1蓝牙模块的价格在500~600元，BH-1蓝牙耳机价格在650~750元，该耳机还要配个专用充电座CAB-1，价格在90元左右，这些蓝牙配件与YAESU另一款FT-10R车载台的蓝牙选件完全相同。使用蓝牙功能对于8R，蓝牙模块BU-1是必需的，那么同样价格不菲的原配蓝牙耳机是否必须搭配使用，在笔者尝试搭配了普通移动电话蓝牙耳机以及蓝牙免提设备后，作出了否定的结论。BU-1模块同样可以搭配普通蓝牙耳机使用，甚至40元左右的“山寨版”蓝牙耳机一样可以使用！

VX-8R安装BU-1蓝牙模块非常简单，甚至无需使用螺丝刀，与VX-7R安装气压模块类似。卸下8R后部的电池，我们可以看到机内有相当大面积的灰色覆盖胶贴，BU-1模块就安置在此下。揭开胶贴，机内唯一的预留空间就是为BU-1模块准备的，对准连接口直接插入就大功告成。

VX−8R蓝牙模块BU−1

VX−8R原配蓝牙耳机BH−1

整个安装过程非常简单，但我们发现由于考虑到防水的因素，8R的胶贴非常厚实，四周所用密封固定胶粘性很强，要开启胶贴并不十分容易，用力过大极易对胶贴造成损伤。当蓝牙模块安装到位后重新封闭胶贴很难做到原先的完美复原，比取下7R机后的塑料盖板要难得多。

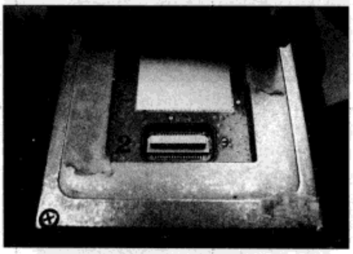
纵观8R的防水结构，8R的电池周边并没有防水O圈，防水主要靠机器本身的水密性，其中机背后的胶贴起很大的作用。这点与7R不同，7R的电池外部有防水O圈，对电池仓起水密的作用，7R机后的塑料盖板并不承担水密的任务。我们在浸水试验中8R背部与电池结合面是有水侵入的，除了外框全靠胶贴密封。因此，我们安装蓝牙模块破坏了胶皮水密性，也就破坏了8R整体的防水特性。

（注：据悉目前在国内销售的VX-8R包装中已经提供备用密封胶贴，安装蓝牙组件和扩频的朋友就不用发愁保持密封性能的问题了。）

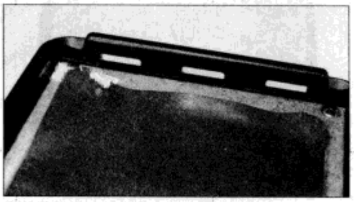
通过多台机器的拆装，我们发现用热风焊台对胶贴进行预热会有助拆装，同时如果你想保持8R的防水特

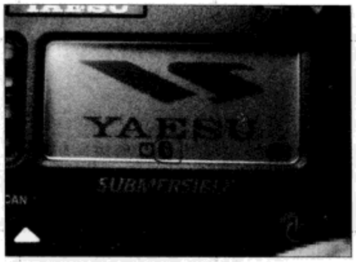
VX-8R后背灰色胶贴

揭开胶贴

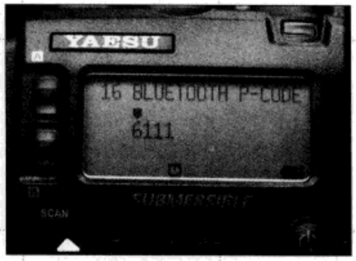

VX-8R为蓝牙模块预留的空间及接口

蓝牙模块安装到位


安装蓝牙模块后胶贴密封性很难保持



蓝牙模块安装后开机画面框中为蓝牙标记



VX-8R连接认证码设定界面

性，可以在重新合上胶贴的时候使用新的防水胶。在此友情提示，如果你对8R的防水特性非常看重，请慎装蓝牙模块，或者安装后重新加强胶贴部分的水密性能。当然还有一种不破坏胶贴、完美安装蓝牙模块的方法，就是完全拆开机器安装，问题是完美拆机也需要很多技巧和工具，首次拆机很难面面俱到。

VX-8R成功安装硬件蓝牙模块后，开机界面在屏幕的下方就会显示蓝牙标记。在使用中，如果启用蓝牙传输，在屏幕下方同样会出现蓝牙标记。使用蓝牙传输就像使用普通外接耳机一样，会切断机内扬声器工作。

对蓝牙模块的设定比较简单，安装蓝牙模块后，8R菜单中的16和17号菜单会变得可用。16号菜单为BLUETOOTH P-CODE，用于设定蓝牙设备配对密码和搜索配对蓝牙耳机。8R的初始蓝牙配对密码为6111，当然我们可以方便地设置为常用的0000。

按住V/M键就开始配对，整个配对过程需要20~30s，配对成功与否会有文字显示，但不像移动电话那样，会显示蓝牙耳机的型号。17号菜单为BLUETOOTH SET，用于对蓝牙功能的设定，具体分为VOX、MODE、SAVE、POWR四个项目。VOX为声控功能，有PTT、VOX HIGH、VOX LOW、OFF四个选项，分别表示用手动PTT键控制发射、高灵敏度声控发射、低灵敏度声控发射、关闭。如果你使用不具备PTT功能的普通蓝牙耳机，就可以考虑使用VOX功能控制发射，如果你使用普通蓝牙耳机只做监听用途，那么使用OFF设置。8R具备广播接收功能，所以利用蓝牙耳机可以听广播。MODE提供立体声和单声道选择。SAVE为节能模式。POWR为开启关闭设定。

8R与第三方蓝牙耳机的兼容性和使用效果是大家所关心的。普通用于移动电话的蓝牙耳机，由于没有设计PTT键，所以自然不可能有PTT功能，但作为接收功能的耳机或者利用8R机器上的PTT以及8R提供的蓝牙声控功能，一样可以控制发射。我们试验了多种品牌、档次的蓝牙耳机，总体而言，BU-1蓝牙模块的兼容性还是很高的，但不是100%做到通用。

我们测试的绝大多数耳机都能与BU-1蓝牙模块配对成功，但有少数蓝牙耳机配对不成功，8R也将音频切换到蓝牙输出，但蓝牙耳机就是没有声音输出，所以建议大家在选配第三方耳机时最好当场试验。除了蓝牙耳机，大部分蓝牙车载免提装置同样可以用，这样用户就能将8R靠近窗户放置，以利于信号接收。然后通过蓝牙传输到车载免提装置上，利用车载免提装置的扩音器有非常好的音频输出效果。需要注意的是，8R的蓝牙输出距离并不远，要控制好蓝牙装置与8R的位置，否则由于蓝牙信号不好，信噪比会下降严重。8R与蓝牙耳机的兼容性与蓝牙耳机的版本并没有直接的关系，我们用老款的索爱HBH-300蓝牙耳机一样可以很好地与8R匹配。我们

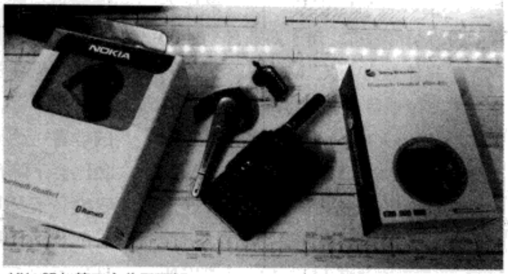
使用市价不到50元的仿索爱HBH-631蓝牙耳机，连接和使用完全正常。经试验MOTOROLA的H605的使用效果也很好，对于喜欢挂耳耳机的朋友很适合。我们还使用了支持多设备连接的蓝蚂蚁Z9耳机来匹配8R对讲机和移动电话，也完全正常。虽然大部分第三方蓝牙耳机都与8R配对成功，也可以正常使用，但兼容性还是有差异，有的蓝牙耳机在8R主机重新开机后不容易与之自动连接，经常需要再次手动配对，而有的蓝牙耳机工作起来就十分顺畅。这种兼容性与蓝牙耳机的价格并没有直接的关系，估计与产品设计和所用芯片有关。

实际使用效果上，MIC话筒的音质与蓝牙耳机的品质特性有关，有些廉价蓝牙耳机在安静的环境中用用还可以，到了噪声大的环境中就很难抑制背景噪声。通常体积比较大、话筒延伸靠近嘴巴的蓝牙耳机效果比较好，比如HB-300，因为这些体积较大的耳机都是老款，所以价格也比较便宜，原配的BH-1蓝牙耳机也是这种设计。市场上有一种为话筒增加空气导管的蓝牙耳机，外形很酷，效果也不错。一些小型但具备抗噪声技术的耳机效果也比较好，但价格就比较贵了。

使用8R时，通过常规音量设置就能调节收听音量，改善收听效果，蓝牙耳机的收听音质与耳机本身的品质和信号接收能力有关。对于只需要监听的用途，我们可以选择体积小巧的耳机。通过对蓝牙耳机发送信号的检测表明，普通蓝牙耳机与8R配合，即使在收听状态，耳机也处于通话状态，耳机同样有发射（只是没有被8R转发而已）。由于蓝牙耳机体积小，所以内置电池容量不可能很大，选择续航能力强的蓝牙耳机很有必要。需要注意的是，有些标称工作上百小时的指标都是指待机时间，我们需要的是通话工作时间（通常指标是几个小时）。有些“山寨版”的蓝牙耳机电池容量更难保证，通常连接工作1～2个小时就要充电了。大部分“山寨版”仿制耳机的接收能力也不强，配合移动电话还凑合，若要配合8R使用，如果将对讲机放置于后腰的位置，就容易出现蓝牙信号不佳的状况。如果将8R拿在手里，情况就会大有改善。大部分原装耳机接收性能要好很多，同样情况也能清晰接收。如果将8R主机放置在身边的包里，效果会比放在后腰位置的效果好些。

我们使用频谱仪比较8R与普通移动电话发出的蓝牙信号强度，发现8R实际蓝牙发射场强并不大，由此我们想到了它的蓝牙模块。我们仔细观察了BU-1，做工还是不错的，但没有发现蓝牙印板天线，如果信号由模块直接输出，其安装环境（位于机器内部键盘与电池板之间）对2.4GHz的蓝牙信号的收发不利，由此对蓝牙耳机的接收灵敏度提出了更高的要求。还是一句话，为8R配蓝牙耳机还是实际测试最保险。

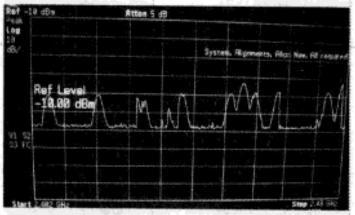
很多朋友都关心VX-8R的蓝牙功能是否可以连接蓝牙GPS，实现APRS。很遗憾我们尝试了多种品牌的蓝牙GPS，都无法成功与8R配对连接，自然也无从进行GPS应用了，看来还是要使用有线GPS。



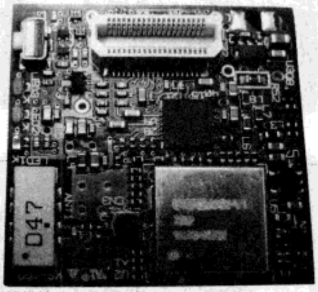
VX-8R与第三方蓝牙耳机

VX-8R蓝牙功能设定界面

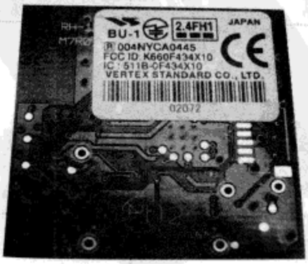
蓝牙功能开启瞬时信号频谱



蓝牙功能使用一段时间内的信号频谱



蓝牙模块正面



蓝牙模块反面

传输线巴伦的制作与测试

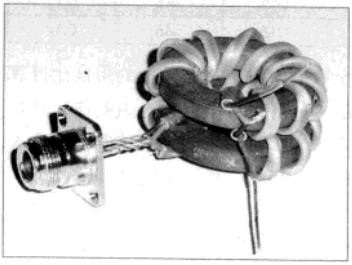
◎刘辉（BG1LQX）

业余无线电通信中常用到的巴伦，主要指的是同轴电缆向天线馈电时所需要的不平衡到平衡的变换器，英文是Balance-Unbalance，缩写为一个新词Balun，音译为巴伦。

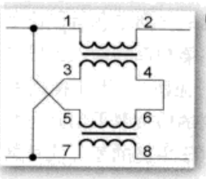
传输线巴伦的原理与特点

巴伦的种类很多，有着不同的原理和制作方法，本文中笔者向大家介绍的是一种传输线变换器结构的巴伦，虽然都是在磁环上绕线圈，但它不同于绕匝变压器原理的（磁耦合）巴伦。

传输线巴伦的结构如图1所示，它是在高频磁环上缠绕一组或几组传输线，利用不同的连接方法来完成阻抗变换和平衡-不平衡变换作用。能量从变换器的始端到终端是通过传输线的分布电容、分布电感以及电磁能量交换的形式来传送的，这和通常的绕匝变压器不同，它克服了绕匝变压器在高频时由于线圈的分布电容所带来的不利影响，改善了高频特性。此外，每对传输线的两导线电流的幅度相等、方向相反，因而他们在磁芯中产生的磁通相互抵消，这样磁芯的损耗很小，即使磁芯截面积很小，也具有



(a)



(b)

图1 传输线巴伦的结构

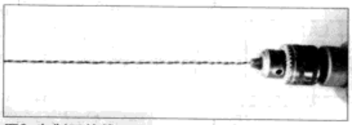
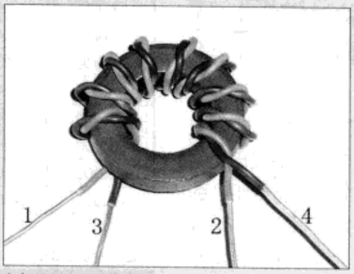
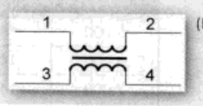


图2 自制双绞线



(a)



(b)

图3 把双绞线均匀地绕在磁环上

较大的功率容量。所以，它具有频带宽、体积小、功率容量大等优点。传输线巴伦的设计和制作需要考虑以下3个因素：

1. 传输线变换器在低频段可以等效为传统的低频变换器，其低频响应的恶化是由于传输线两导体之间因磁化电感引起的并联电纳，它决定了变换器的最低工作频率。

2. 在高频端，它是具有一定特征阻抗的传输线，为避免产生任何谐振现象，特别是对于复数负载，它会引起实质上的幅度波动增加，传输线的长度不超过上限频率波长的1/8，过短则低频特性会变差。

3. 为了选择用于射频变换的磁

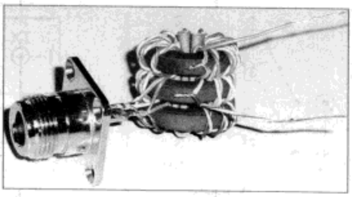
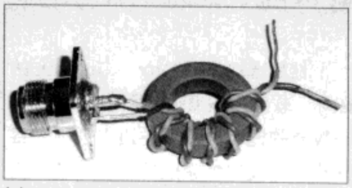
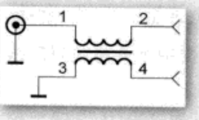


图7 1:9巴伦



(a)



(b)

图4 1:1巴伦

芯，需要知道磁芯的饱和磁通和它的非线性特性，按最低工作频率的最大功率计算最大磁通密度。

为计算方便，笔者编写了传输线巴伦计算程序，有兴趣的读者可以到www.5w-tech.com免费下载使用。

传输线巴伦的制作实例

首先选取两段长约0.5m、18AWG（截面积约1.0mm^2）的纯铜绝缘导线，也可以用相当的漆包线，将两条线并在一起，一端固定，另一端夹在电钻的夹头上，适当开启电钻，就可以很容易地得到一条绞距均匀的双绞线（也是一种传输线），绞距要密些，以弯折90°后不散开为好。

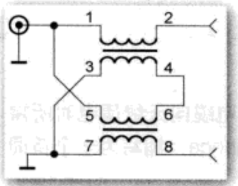


图5 1:4 巴伦

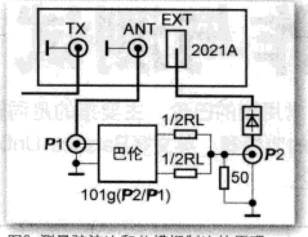


图8 测量驻波比和共模抑制比的原理

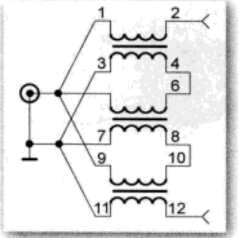


图6 1:9 巴伦

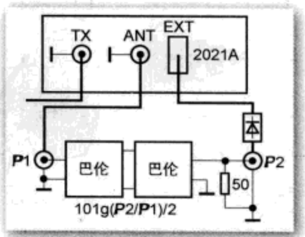


图9 测量插入损耗的原理

表1 1:1（NH3158，μ0=400，自制双绞线，7圈，见图4a）

频率（MHz）	功率（W）	驻波比	抑制比（dB）	插损（dB）
2.000	14.69	1.01	25.01	0.12
4.000	14.47	1.01	34.59	0.06
7.000	14.58	1.07	41.67	0.06
10.000	14.58	1.11	>45	0.06
14.000	14.69	1.17	>45	0.09
18.000	15.02	1.23	>45	0.15
21.000	15.24	1.28	>45	0.18
25.000	15.46	1.33	>45	0.22
29.000	15.46	1.39	>45	0.29

表2 1:4（NH4578，μ0=400，BELDEN6320UL，10圈，见图1a）

频率（MHz）	功率（W）	驻波比	抑制比（dB）	插损（dB）
2.000	14.26	1.01	26.20	0.08
4.000	14.05	1.00	35.44	0.09
7.000	14.05	1.00	41.46	0.08
10.000	13.94	1.00	>45	0.07
14.000	14.05	1.01	>45	0.09
18.000	14.26	1.01	>45	0.11
21.000	14.58	1.03	>45	0.11
25.000	15.13	1.07	>45	0.14
29.000	15.35	1.10	>45	0.15

表3 1:9（NH2246，μ0=100，网线，13圈，见图7）

频率（MHz）	功率（W）	驻波比	抑制比（dB）	插损（dB）
2.000	14.26	1.93	26.17	1.43
4.000	14.05	1.37	27.34	0.51
7.000	14.15	1.16	30.36	0.19
10.000	14.05	1.05	34.47	0.07
14.000	13.94	1.01	41.46	0.08
18.000	14.05	1.01	>45	0.06
21.000	14.36	1.06	>45	0.08
25.000	14.91	1.12	>45	0.11
29.000	15.13	1.18	>45	0.12

然后选取外径31mm，μ_0=400的磁环，软件中的磁环编号是NH3158，一般新的磁环内外圈的边很锐利，容易将漆包线的绝缘破坏，可以用什锦锉将其锉得圆滑些。将前面做的双绞线紧密均匀地穿绕在磁环上，7~9匝即可，注意穿绕过程中不要将绞好的线搞松。

将绕好的线两头分开，剥去绝缘，分清线号及首尾，见图3，这样一个基本单元就搞好了，根据需要准备好基本单元的数量。

1:1巴伦很简单，只要将一个基本单元的首尾分别接到插座和接线端子上就可以了，如图4所示。

1:4 巴伦需要两个基本单元，将双绞线首端并联，尾端串联，首端接插座，尾端接端子，原理见图5，实物见图1(a)。

1:9 巴伦则需要3个单元，同样将双绞线首端并联，尾端串联，首端接插座，尾端接端子，原理见图6，实物见图7。

实用的巴伦需要装在密封的盒中，可以采用工业标准的ABS防水密封盒，千万不能用金属盒，否则将导致共模抑制比变差。传输线巴伦最好采用特定阻抗的同轴电缆，但很难寻得合适的，又由于主要用在短波，要求不是很高，这里建议用自制双绞线来绕制，因此，巴伦到插座间的连线越短越好。有合适的成品电缆也可以使用，下面用于测试的巴伦中，1:1的是用自制双绞线，1:4的是成品电缆BELDEN6320UL，1:9的是用电脑网线。

传输线巴伦的测试

我们制作和使用巴伦的主要目的有两个，一是平衡-不平衡的变换，二是阻抗变换。为判断是否能达到这两个目的，需要测量以下指标：

驻波比——巴伦的平衡输出端接匹配的假负载，在使用频带内测量同轴端的驻波比，一般应小于1.5。假负载的阻抗是按照巴伦的阻抗比计算的，一般可以用无感电阻制作，其功率应当满足测量功率的需要。实验表明，使用多个贴片电阻并联达到所需阻值和功率有非常好的效果，而使用引线的电阻频率超过20MHz时，其频率特性将急剧变坏。

共模抑制比——通过测量巴伦平衡输出端的不平衡功率和输入巴伦的功率比来计算，见图8。不平衡功率是通过将平衡端的假负载平均分为两部分，其中点对于平衡的差分信号是

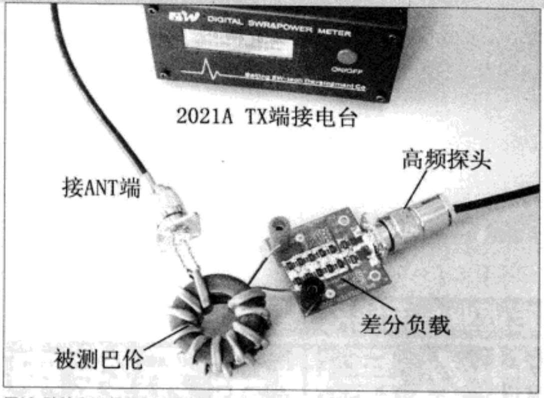


图10 驻波和共模抑制比的测量

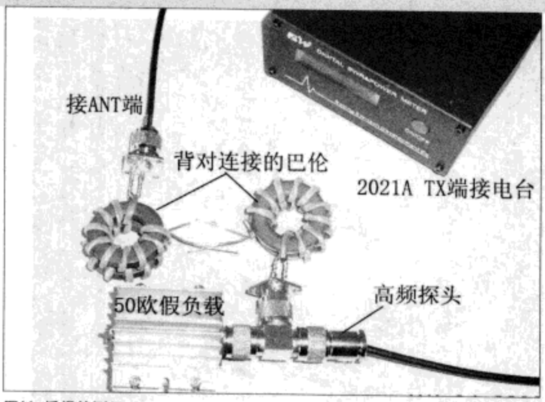


图11 插损的测量

零点，因此中点对地的信号功率就是不平衡信号的功率，就是通过巴伦泄漏过来的共模信号功率，将此功率与输入功率之比再换算为分贝就是共模抑制比，其数值越大越好，一般大于20dB即可。

插入损耗——巴伦的插入损耗是指巴伦的输出功率和输入功率之比，然而输出是平衡信号的巴伦不便直接测量输出端功率，一般是通过将两个相同的巴伦平衡端对接，即将平衡信号再变为不平衡的50Ω同轴电缆来测量其损耗，然后再除以2，得到一个巴伦的插损（即认为两个巴伦是一样的），同样是分贝值，越小越好，通常应<0.5dB，见图9。

为方便以上参数的测量，笔者设计了具有上述参数测量功能的2021A型数字功率/驻波表，见图10、11。表1～3列出了自制的三种传输线巴伦的实测结果，试验中的巴伦并没有安装在密封的外壳中，测试结果仅供参考。由于笔者对巴伦的理解也不深刻，实践经验有限，难免存在错误和偏差，还希望广大有经验的HAM给予指正。

《高保真音响》2009年增刊——《高清影音功放应用指南》

现如今，高清音视频娱乐已经逐渐成为家庭娱乐的主流，面对高品质的音画享受，有谁能够不动心？但面对琳琅满目的各类高清器材，您在选购时是否左右为难？作为家庭影院核心的影音功放，虽然功能庞大，但您真正物尽其用了吗？复杂的家庭影院系统，是否调教起来是否又能够得心应手？关于高清娱乐的种种问题，都将在《高保真音响》2009年增刊——高清影音功放应用指南》中一一为您解答。

本书是由香港辣椒出版有限公司总编辑周志远先生带领编辑部同仁精心编撰的《高清扩音机应用指南》的简体中文版本。全书分为4个单元，39个章节，分别从技术、选购，音效设定，影像及多媒体应用，进阶功放玩法4个部分详尽而生动地介绍了高清家庭影院功放的各项基本知识，还包括了各种音效格式的区分与应用、THX认证、蓝光影碟、HDMI线材等必备的影音知识及选购技巧。每一个章节除了详尽的文字说明外，还配有实际测试截图，令读者能够身临其境地跟随作者一步步从最基础的影音爱好者进阶为资深影音发烧友，感受高清音视频娱乐带来的前所未有的视听震撼。

无论您是关注高清影音娱乐的发烧初哥，还是刚刚组建自己家庭影院系统的用户，更或者是影音高烧友，都能够从本书中找到适合自己的影音知识。

开本与印制：大16开/105g铜版纸/全彩/128页
定价：30元（全国各大新华书店有售）
邮购电话：010-67134361

本书亮点：
全面翔实的影音基础知识介绍。
深入浅出的高清影音功放应用、选购指南。
直观贴切的操作设置演示。
进阶实用的后期调校操作指导。

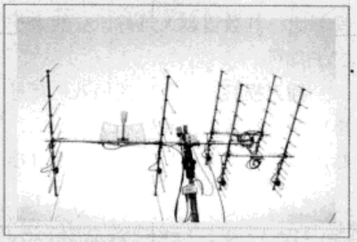
◎吴国光（BA7IA）

走近业余无线电卫星通信

什么是业余无线电卫星通信

随着我国的业余无线电活动的发展，业余无线电活动的领域也向太空扩展。业余无线电爱好者利用在太空中运行的人造地球卫星进行业余无线电通信，这是除了用短波通信方式以外的另外一种可以使信号达到超视距范围的现代化通信方式。由于业余无线电卫星运行轨道所处的高度比较高，因此业余无线电卫星通信具有超视距的覆盖范围、通信信号质量好，可以预测等的优势。但受业余无线电卫星运行条件的限制，必须等待业余无线电卫星通过附近时才可以进行通信，而且需要通信的双方电台都要能同时看到业余无线电卫星，而且还要克服太空传输路径中出现的种种不利因素，这就对业余无线电爱好者的器材设备、技术水平和操作技巧等方面提出了更高的要求。

1961年12月12日由业余无线电爱好者自行研制的第一个业余无线电卫星OSCAR-1在美国发射成功，OSCAR是Orbiting Satellite Carrying Amateur Radio的英文缩写，这个业余组织致力于研究、制造和发射业余无线电通信卫星。OSCAR-1卫星的重量仅有4.6kg，只携带了一个145MHz的信标发射机，而且只有140mW的发射输出功率。OSCAR-1卫星在太空短短22天的飞行期中，世界各地就有22个国家的570个业余电台通过接收该卫星发出的信标信号来观察和研究VHF波段信号穿越电离层的情况，并通过解读OSCAR-1卫星发送的遥测信号了解卫星的轨道和卫星温度变化的情况，取得了业余无线电卫星信号接收和跟踪的实际操作经验。OSCAR-1业余无线电卫星的发射成功，不但证明了业余无线电爱好者们有能力研制、开发和控制自己的卫星，也标志着业余无线电通信活动从此进入了太空时代。此后，业余无线电通信卫星经过不断改进和发展，已经有美国、俄罗斯、日本、印度等国家及欧盟的业余无线电组织成功地开发、制造和发射了20多颗业余无线电通信卫星，现在还在太空正常运行操作的业余无线电通信卫星也有十几个（通过网站www.amsat.org/amsat-new/satellites/status.php可以了解到目前还在运行的、可以使用的业余通信卫星及其参数）。世界各国的业余无线电爱好者利用这些业余



用于卫星通信的天线阵

OSCAR-1业余卫星

无线电通信卫星可以方便地进行各种通信方式的试验和联络。最近几年里，这些业余无线电卫星还实现了多功能化，在卫星上搭载许多其他实验仪器和设备，服务于大学的科技组织研究项目、自然灾害时的紧急通信以及进行高新科技实验等，成为名副其实的业余卫星。中国无线电运动协会（CRSA）也在积极探索和实施自行

研制和开发我国的业余无线电通信卫星，成立了业余无线电通信卫星的开发研究小组，相信由中国HAM自己研制的业余无线电通信卫星在不久的将来也会发射升空。

早在20世纪80年代，我国就有一些集体电台对业余卫星通信进行探索。我国对个人业余电台活动开放以来，全国各地有越来越多的HAM对业余无线电卫星通信产生兴趣。多年来进行了很多积极的探索、研究和实践，参加这项活动的队伍和规模也在不断地壮大。近年来，一些学校的集体电台还积极参加ARISS国际空间站业余无线电通信计划（Amateur Radio on the International Space Station），这个计划可以使学生们体验前沿高科技，给学生们提供一个利用业余无线电和国际空间站宇航员直接交流的兴奋体验。教师、家长和社会都将看到业余无线电将如何激发青少年对科学、技术和知识的追求。继南京三中的BY4RRR和上海的BY4AY进行了ARISS成功对话之后，广州同福中路第一小学业余电台BY7KTO将于今年的年初成为我国第三次ARISS学校通联，同时这也是我国第一次由小学校自主参与ARISS活动的计划。

在这些通联活动的背后，由许多HAM组成的技术支持团队，对活动的成功做出了无私奉献，用他们的知识、技术和器材等筑就了“通天之路”，以他们高尚的情操、辛勤的汗水、认真的态度和过硬的技术，赢得社会对业余无线电爱好者的赞誉。同时在活动中也取得了对于深空通信的很多宝贵经验，进一步促进了我国业余无线电技术水平的发展。

由于业余无线电通信卫星技术的发展和进步，以及参与业余无线电通信卫星活动队伍的不断壮大，业余卫星通信已经被国际电信联盟确认为一项专门的无线电业务-业余卫星业务（Amateur Satellite Service）。其定义是：利用地球卫星上的空间电台开展与业余业务相同目的的无线电通信业务。为了能更好地开展业余无线电卫星通信活动，在原有的业余无线电频段中，专门划分出一些频率段作为业余卫星通信的专用频段（详情请参照业余无线电频段分配表）。我们业余无线电爱好者平时若不是进行业余无线电卫星通信有关的操作，请尽量不要在这些相关频段范围内的频率上发射信号，以免对业余无线电卫星的通信造成干扰而影响其他HAM进行正常业余无线电卫星通信操作。业余无线电卫星通信推动和研究的组织AMSAT（The Radio Amateur Satellite Corporation），现在已经遍布世界上几十个国家和地区，对业余无线电卫星通信有兴趣的爱好者可以通过登录该组织的网站**www.amsat.org**查找到有关的最新技术资料和活动的进展情况。

业余无线电通信卫星简介

对业余无线电通信卫星朴素的理解就是一个运行于环绕地球轨道上的业余无线电中继电台的平台，该平台上的业余中继电台无偿地提供给全世界所有符合资格的HAM使用。和我们一般地面上使用的V/UHF中继电台不同之处，就是业余无线电通信卫星是处于一个不断地围绕地球运动的状态，电波传播的路径长、复杂多变，而且卫星在太空中的环境非常严酷，还需要进行姿态控制和电源调度等控制管理，因此业余无线电通信卫星在技术和实际操作上都比普通的中继电台要复杂得多。

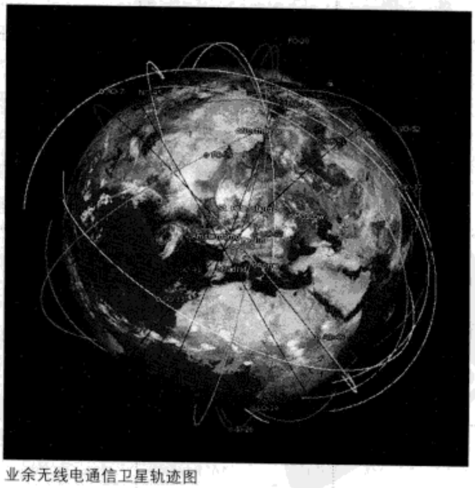
1. 业余无线电通信卫星的分类

通过查找资料，目前国际上比较主流的是把业余无线电通信卫星按照它的运行轨道和功能等分成以下5类：

（1）Phase 1：早期发射的业余卫星，只携带低功率的信标机，轨道很低，在轨寿命只有几个星期，如OSCAR 1～5。

（2）Phase 2：业余通信卫星运行于1000km以下的低轨道，卫星绕地周期只有几个小时，因此，卫星的通信时间比较短，只有几分钟到十多分钟。同时，通信的覆盖范围也比较小。这类卫星安装有多种工作方式的中继器，在轨寿命比较长，可以连续地工作四五年。要操作这类卫星需要有很好的跟踪软件和天线，并且通信时还要进行多普勒频移补偿。如OSCAR 6～9，RS 10～16等。

（3）Phase 3：业余通信卫星运行于长椭圆轨道，卫星的运行周期达11～12小时。卫星的通信时间增加到几个小时，可以覆盖的通信区域也大大增加。当卫星运行在远地点附近时，可以很容易用简单的方法进行跟踪，同时可以手动进行多普勒频移补偿。但是这类卫星的距离比较远，操作需要比较大的发射功率和高增益的天线系统。这种类型的卫星首先由通信卫星摩尔尼亚

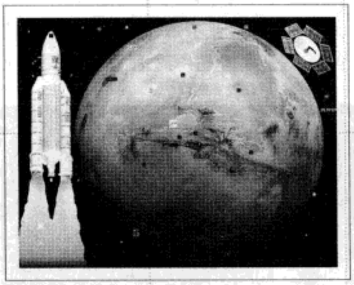


业余无线电通信卫星轨迹图

使用，因此这样的远地点到达静止轨道附近的长椭圆轨道也称为摩尔尼亚轨道。摩尔尼亚轨道运行的卫星能在一天之内两次覆盖同一地区，因而在高纬度的地区可以把它看作静止卫星使用，跟踪操作起来非常方便。如 OSCAR 10、13、40。

(4) Phase 4：位于地球静止轨道上的业余通信卫星。由于卫星的轨道平面与地球的赤道平面一致，而且卫星的运行周期和方向都与地球自转同步，因此在地球上观察在此轨道上的卫星就好像在空中静止不动，跟踪起来非常容易，天线可以固定安装设置，同时也不用进行多普勒补偿（就和我们现在收看卫星电视一样）。但是，这条轨道是唯一的，兼有很高的商业利用价值的重要轨道，目前，还没有在此轨道上的业余无线电通信卫星，相信以后就算有静止的业余通信卫星，很大可能只是寄生在大型通信卫星上的一个小转发器而已。

(5) Phase 5：在深空中运行的业余无线电通信卫星，例如围绕月球或火星运转的业余卫星，目前 AMSAT 正计划发射 P5A。



P5A业余卫星

表1

运用方式	上行波段	下行波段
A	144MHz(2m)	29MHz(10m)
B	435MHz(0.7m)	144MHz(2m)
J	144MHz(2m)	435MHz(0.7m)
K	21MHz(15m)	29MHz(10m)
L	1270MHz(0.24m)	435MHz(0.7m)
S	435MHz(0.7m)	2400MHz(0.13m)
T	21MHz(15m)	144MHz(2m)

表2

频段代码	操作频段
H	21MHz（15m）
T	29MHz（10m）
V	145MHz（2m）
U	435MHz（70cm）
L	1.2GHz（24cm）
S	2.4GHz（13cm）
C	5.7GHz（6cm）
X	10.5GHz（3cm）
K	24GHz（1.5cm）

2. 业余无线电通信卫星的运用方式

与我们常用的V/UHF业余中继电台一样，地面业余电台和业余通信卫星之间的通信包括上行通道和下行通道。为了避免相互的干扰，业余通信卫星转发器和我们通常的业余中继台不同，业余通信卫星的上行通道频率和下行通道频率一般被安排使用在不同的频段。业余通信卫星转发器的不同频段组合就称为业余通信卫星的运用方式。为了简明起见，常用一个字母来表示，见表1。

随着业余无线电通信卫星运用频段的不断扩展，表1也已经有点不敷应用，于是就出现了另一种命名方法：以一个字母来代表上行或下行频段，一个运用方式由两个字母组合而成，见表2。

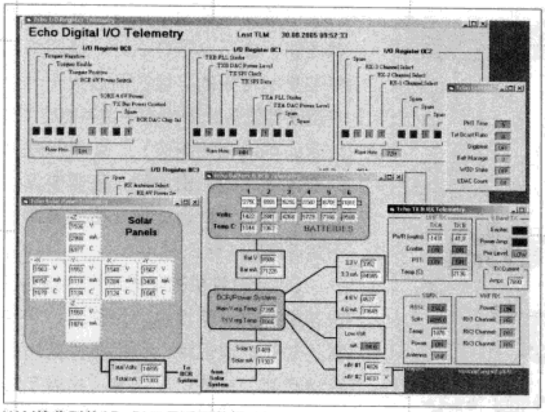
不同的业余无线电通信卫星具有不同的运用方式，甚至有的同一颗卫星在不同的时段也会采用不同的运用方式工作。因此，在进行业余无线电通信卫星操作之前，要先在“AMSAT”等有关网站上了解清楚该业余卫星的运用方式安排和具体的操作频率等信息。

3. 业余无线电通信卫星的通信模式

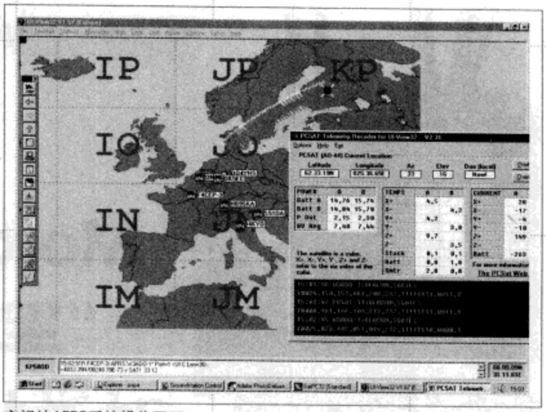
如同我们在地面进行业余无线电通信一样，业余无线电卫星通信也可以采用CW、SSB、FM和RTTY等各种电波调制模式进行。业余通信卫星的通信模式和卫星上的转发器的运用模式有很大的关系。目前，广泛使用的业余无线电卫星转发器的工作方式与我们普通地面使用的V/UHF业余中继电台有很大的不同，我们地面使用的V/UHF业余中继电台是先把接收到的上行信号解调成音频信号，再让这个音频信号去调制另一个发射的下行信号。但是业余无线电卫星上转发器通常是采用接收上行的已调制信号，经过外差频率变换后直接用下行频率发送的方式，在这种工作方式中，信号被原样地转发出来，中间并没有把信号解调出来，因此被称为线性中继方式，又称为频道变换器或线性转发器。

使用这种形式转发器的业余无线电卫星进行通信，只要使地面上行的信号在业余通信卫星转发器限定的频带内就可以原样地返回地面。因此，理论上这种转发器可以适应任何模式的通信。但是，有的业余无线电通信卫星由于设计的通频带有限，或者储备的电源容量有限，又或者转发器的有效辐射功率不够等因素，可能限定只能以CW或者SSB等某种模式操作，但是比较新型的业余无线电通信卫星已经可以用FM等几乎所有的通信模式进行操作。业余无线电通信卫星的具体操作模式也会根据卫星的运行情况和星上电力状况等进行不同时段的调整，最好在操作前到“AMSAT”网站上了解清楚。

由上所述，线性转发器实际上也可以转送数字信号，只不过数字信号经过一上一下的传输过程以后，信号受到干扰和波形失真等因素影响，使得信号的误码率增大，信号的纠错处理完全依赖于地面接收端。现在有的业余无线电通信卫星上搭载了数字通信中继器，可实现真正意义上的数字卫星通信。目前，大多数业余无线电数字通信都采用分包（Packet）通信方式，通常采用AX.25 协议传送数据。在业余无线电通信卫星上也是采用这种方式，并且操作所使用的设备与地



HAM接收到的AD−51卫星遥测数据显示画面



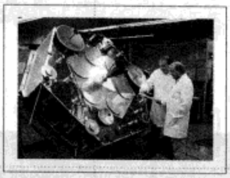
空间站APRS系统操作画面

面进行分包通信的设备没有本质的区别。分包通信的调制解调器接口TNC可以用专用的产品，也可以用电脑的声卡配合适当的软件进行模拟，最近已经出现了完全数字化的D-STAR业余无线电收发信机，在这类机器的内部已经嵌有调制解调器接口。

通过业余无线电通信卫星的数字中继器可以进行高达9600bit/s数据传输速率的通信。除了可以进行实时的数据通信以外，还可以利用业余无线电卫星上的数字中继器以电子留言板方式和电子邮箱方式进行通信。在这种通信方式中，使用者把数字信息发送到业余卫星上，卫星把这些信息存储下来，当卫星运行到其他地方，由另一个使用者打开业余卫星上的信息存储器，下载所存储的信息。通过这种方式，通信双方即使不是同时处于业余通信卫星的覆盖区域上，也可以在不同的时间和地点实现双方的通信交流，类似于我们在互联网上的论坛和邮箱等的交流通信方式。通过往业余无线电卫星的数字中继器发送请求指令，有的业余通信卫星还可以下载该卫星的工作状态和周围环境状况等遥测数据，通过对这些遥测数据进行的长期分析和研究，可以了解到卫星的运行情况、太空的环境状况及对卫星的影响等情况。听说有的业余卫星上还搭载有对地球拍照的数码照相机，可以通过数据链接收到业余卫星从太空发回的云图等美丽影像！

业余卫星或国际空间站的APRS（Automatic Position Reporting System）自动位置报告系统，是一个比较新的系统操作功能，业余卫星或国际空间站把它自己的位置数据放入系统中，而来自地面操作的业余电台也把它的GPS位置数据上传到业余卫星APRS的存储器里，这些位置数据可以通过业余卫星的数字电台下载到你的电脑里，在屏幕上的电子地图上标示出来。如果业余电台是移动的话，它可以显示出业余电台在电子地图上的移动路径。APRS数据传输同样是采用基于AX．25协议的分包（Packet）通信方式，以1200bit/s或9600bit/s数据传输速度送出APRS信息。通过操作接收业余无线电卫星上的APRS应答机，就可以在电子地图上显示出卫星的运行轨迹和所有操作应答机的地面业余电台在地图上的位置。

和任何事物的发展过程一样，业余无线电通信卫星也是经历从低级逐步地向高级、从简单向复杂的发展过程。从卫星上只搭载信标发射机，到简单的应答机，再到中继转发器，频道变换器，进一步是多频段的交叉转发器和多个中继转发器，卫星的操作模式从CW到SSB再到FM通信，从模拟语音发展到进行SSTV、图像和视频通信再到数字通信，从遥测数据到分包（Packet）通信，从以存储转发的电子留言板方式到电子邮箱方式再到实时数据转发方式等。随着业余无线电通信卫星上使用中继转发器的频段不断扩展，业余无线电通信卫星的应用进入了微波领域，卫星上所搭载中继转发器的带宽也在不断地增加，不但可以同时容纳更多的使用者，其数据的传输容量也有大幅的增加。随着技术、材料和元器件等水平的不断提高，卫星的中继转发器发射功率也从过去的只有100mW提高到上千瓦级的水平，使得现在进行业余无线电通信卫星的操作显得更容易。业余无线电卫星也逐步地向多功能化方向发展，在卫星上安装有多种多样的科学仪器和实验装置，使卫星成为一个大众天空实验室，令业余无线电活动拓展至更广阔的外延领域里。卫星运行的轨道也从过去的低轨道发展到长椭圆轨道、高轨道甚至是地球同步轨道，未来更可能会有在深空星际航行轨道运行的业余无线电卫星呢。


研制业余卫星

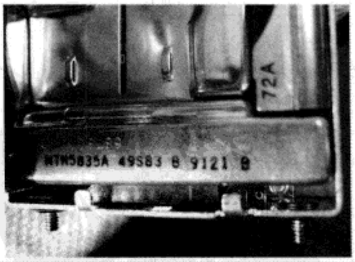
◎杨法（BD4AAF）

Motorola“军刀”对讲机漫谈

Motorola的Saber系列对讲机自20世纪80年代末起广为美国及多个国家和地区的军队和政府执法部门所选用，是一款坚固耐用、性能优良的对讲机产品，也一度是Motorola公司的旗舰级产品。Saber自成系列，随着通信科技的发展已多次升级换代，从标准Saber到System Saber再到Astro Digital Saber，最终随着P25数字化标准在美国的普遍应用和TETRA数字集群在欧洲的普及，Saber系列对讲机为Motorola新一代的XTS系列对讲机和TETRA对讲机所取代，开始渐渐退出历史舞台。由于Saber系列对讲机独特的外观和美国军警用机的血统，所以广为众多军警爱好者和业余无线电爱好者所追捧。因为Saber在中文里有“马刀”的意思，所以Saber对讲机被国内爱好者取了一个非常强悍的名字——“军刀”。国内二手市场上不少淘汰的Saber对讲机成为热门货，价格不断被炒高，有的产品甚至超过一部全新日本中高端对讲机的价格。由于国内Saber系列对讲机没有正式销售过，很多人对该系列对讲机不太熟悉，所以本文就Saber系列对讲机的基本概况作一个介绍。

Saber系列对讲机在美国的价格非常昂贵，被厂家定位于政府与军队用通信产品，其最大价值是可以提供名为“SECURENET”的数字化加密通信，有效防止窃听与泄密（有些出口和民用版本的Saber对讲机是没有加密功能或者限制加密类型级别的）。即使是十多年的产品，它的加密强度远高于现在有些商用对讲机采用的廉价的倒音频频谱加密方式，有些加密制式还是限制出口的。支持加密的Saber对讲机机器顶部的月牙型选择开关就是用来选择通信信号是否加密（在选择加密状态下，如果密钥无效则当用户按下PTT时变为禁止发射状态，并发出音频提示）。基于战术通信保密的要求，Saber对讲机的密钥管理体制比较严密，需要使用专用的密钥载入器加载，同时考虑到可能的丢失或者抢夺已加密终端的可能性，密钥在非常情况下会自动丢失。所以在众多国内二手市场上出现的退役Saber对讲机中，很多虽然都已经安装有以前使用的加密模块单元，但都无法有效使用加密功能，除非你有密钥下载器KVL（独立的硬件设备）重新加载密钥。Saber对讲机的编程软件只能设置对讲机的信道频率和网络信息，并不能上载密钥，之所以这样设计，是因为软件被复制传播的可能性远远大于一个专用硬件设备。即使你手头有KVL（作为商品可以花钱购买），如果想截取并破译空中的加密信号，还需要具体的密钥数据，否则就像在密码锁面前不知道密码一样。

Saber对讲机的坚固耐用性和支持快速修理拼装特性也广为称道，它丰富的功能扩展附件，包括各种用途的手持话筒、车载扩展器等，扩展了其应用范围。但它的电气性能，如接收灵敏度，在Motorola中高档对讲机中属于主流水平，并不出彩，发射功率即便是高功率版本，也只比普通商用对讲机高出1W水平，VHF最高6W、UHF最高5W，低功率版本VHF最高2.5W、UHF最高2W。至于网上有些二手商宣称Saber对讲机可以输出7W功率，估计是“超频”输出，这在Motorola提供的各种技术说明中都没有提到。以现代对讲机的眼光看Saber对讲机的体积和重量，对于亚洲人来说，属于比较超负荷的（设计之初Saber对讲机的体积在当时的同类产品中并不大），Motorola公司的后期产品XTS3000和现在主流的



Saber对讲机内部加密模块

月牙型加密选择开关

XTS2500、XTS5000都在体积和重量方面作了改进。大体积的Saber对讲机对军品爱好者来说摆个超酷的POSE倒是再好不过，实用价值有限。

Saber对讲机的发展顺序由早及晚可以分为标准Saber、System Saber、Saber SI、Astro Digital Saber。

标准Saber

标准Saber支持FM常规通信模式，产品线提供VHF Low Band(66~88MHz)、VHF(136~174 MHz)、UHF（403~520MHz）3个波段的产品。每个波段具体再划分不同的实际工作频段，其中的136~150 MHz波段和403~433 MHz波段的机型覆盖或者部分覆盖业余无线电波段，其他波段的机型需要通过修改编程软件来写入业余电台波段频率。对于一些频率与业余波段相差比较远的型号，除了修改软件，还要调整硬件才能工作在业余电台波段。

从外型和信道上看，标准Saber可以分为Saber I、Saber IE、Saber II、Saber III。Saber I和Saber IE为基础型号，不具备液晶显示器和面板按钮，分别具有12信道和24信道（分2个zone组群）。Saber II具备液晶显示器和3个面板功能键，具有48信道或者120信道（根据具体配置而定）。Saber III具备液晶显示器和3个面板功能键以及3×4的数字键盘，具有120信道。带有液晶显示器的标准Saber可以显示信道名称，当然如果用户愿意，可以将频道名称直接采用频率数字来显示，遗憾的是，标准Saber系列并不提供接收信号强度指示。Saber II和Saber III的一些高级功能依照内部不同版本而有所差异。在无线电爱好者手里，Saber I可以扩展到15信道，部分Saber II可以通过更换外壳和软件升级到Saber III。

Saber对讲机内部工艺精湛

在标准型的基础上还有防水型的R型Saber对讲机和出口到欧洲的MX1000、MX2000、MX3000以及定制机型。R型Saber对讲机需要使用专用的防水电池。MX1000、MX2000、MX3000分别对应Saber I、Saber II、Saber III非加密版，附件基本通用，只是编程软件是MX系列专用的。

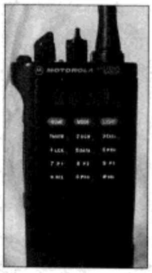
标准Saber系列有支持加密组件和不支持加密组件两大类，支持加密组件的标准Saber对讲机底部比较长一些，也因此被称为“长刀”，提供安装加密组件的位置，可以根据需要安装不同加密算法的加密模块并通过KVL下载密钥。支持加密版的机器顶部有个月牙型的加密开关，可选择加密和明话。不支持加密功能的 Saber对讲机机身相对较短也被称为“短刀”，绝大部分机器顶部没有月牙形选择开关。

System Saber

System Saber字面翻译为“系统军刀”。该系列产品主要是支持集群功能，是集群、常规两用型的机器，在机器面板右上角有System Saber字样。支持集群的形式是Motorola的智慧网（SmartNet），属于模拟集群范畴。除了支持集群模式外，与标准Saber系列主要的区别是：System Saber I/Saber ATS为基础型号，不

Saber对讲机 I 、II 、III型

Saber R防水型对讲机


System Saber III 型对讲机

具备液晶显示器和面板按钮，具有16个信道。System Saber II具备液晶显示器和3个面板功能键以及3×4的数字键盘，具有255个信道。System Saber在PTT按键下多提供了两个可编程的按钮。System Saber使用的附件基本与标准Saber通用，也可以提供保密的语音，但System Saber系统维护编程需要使用System Saber专用的编程软件。

在功率输出和频段支持方面与标准Saber相同，UHF波段基本都需要扩频、改频、改装，才能工作于业余无线电430~440MHz波段。SmartNet集群模式需要基站控制，对于业余无线电用户基本没用，HAM使用System Saber主要还是利用其常规通信模式。

Saber SI

Saber SI是一种特殊的型号，外观上比较像标准Saber和Astro Digital Saber的中间产品，显示和面板布局类似Astro Digital Saber，但它不支持Astro数字模式，内部设计更像Motorola Jedi系

列（HT1000、MTS2000、MTSX），国内市场上比较少见。

Astro Digital Saber

Astro Digital Saber被国内爱好者称为“数字军刀”，因为这一系列机器被主要应用于Motorola ASTRO数字网络，后来升级进入ASTRO 25 / P25网络。Astro Saber始于20世纪90年代中期，是一款全新设计的对讲机，只不过为了延续以前Saber对讲机的众多附件，降低用户单位的设备升级成本，而继续使用标准Saber对讲机的外型和接口，包括电池、充电器、携带外套等。尽管如此，Astro Saber有些附件，如天线（改为标准的SMA接口）、公共安全用天线手咪话筒、编程电缆，都与标准Saber对讲机不兼容，Astro Saber的车载适配器也只是向下兼容标准Saber。

Astro Digital Saber产品线提供VHF(136~174MHz)、UHF（403~470MHz、450~520MHz）、800MHz波段3个波段的4种频段划分产品。对于业余无线电用户来说，VHF和UHF（403~470MHz）波段的机器完全覆盖业余无线电波段，无需做任何改动。Astro Saber可以具备常规/集群和模拟/数字模式以及语音加密模式，对于业余无线电用户来说，主要还是使用其常规模式，真正高科技的ASTRO 25数字模式和集群模式无法用到。

ASTRO Digital Saber III型对讲机

从外型和信道上看，Astro Digital Saber与标准Saber对讲机一样，可以分为Astro Saber I、Astro Saber II、Astro Saber III。Astro Saber I为基础型号，不具备液晶显示器和面板按钮，具有16或32信道。Astro Saber II具备液晶显示器和6个面板功能键，具有255信道。Saber III具备液晶显示器和6个面板功能键以及3×4的数字键盘，具有255信道。

在标准型的基础上还有防水型的R型Astro Saber I型和II型对讲机，Saber R对讲机需要使用专用的防水电池。

根据出厂年份的不同，Astro Digital Saber II/III的控制板有512KB和1MB之分，这直接关系到一些新特性的升级可能性。Astro Digital Saber系列对讲机具备了Motorola采用的FLASHport技术。FLASHport指的是在产品硬件固定不变的情况下，根据用户的需要，通过软件赋予对讲机各种不同的功能，使用户的投资利益最大化，不用购买用不到的功能，以后如果确有需要可以单独购买，届时只要软件开通就可以。由此，同样型号的具有FLASHport技术的机器可能功能相差很远，价格也不同，原理上类似电脑刷BIOS和手机刷固件。为了标示每一部对讲机所开放的功能，每个对讲机都有一组FLASH CODE，通过这组数字，专业人员可以了解该对讲机的功能。以我们常见的Astro Digital Saber II/III为例，是否具有模拟集群功能、ASTRO、ASTRO25、OTACR、OTACS、ID显示都需要使用FLASHport开通。这种FLASHport功能的开通与普通编程RSS和CPS软件不同，甚至编程使用的RIB都不同，需要SMART RIB和KEY，除了正规渠道，个人掌握这种升级技术的很少，除非拆机焊板改芯片。

后期的Astro Digital Saber系列手持对讲机出现了XTS3000，采用了全新的紧凑外型设计，电路结构类似，附件接口部分与Motorola Jedi系列（HT1000、MTS2000、MTSX）相同

SSE5000定制对讲机

XTS3000对讲机

APX7000对讲机

(因为当时MTS2000和HT1000已经非常流行)，外形上已经完全没有传统Saber对讲机的影踪，外在唯一的联系就是其Windows CPS编程软件还是与Astro Digital Saber相同，功能方面也基本相同。其实XTS3000与Astro Digital Saber是同一产品线，是该产品的后期之作，而XTS2500和XTS5000是新一代的产品线。

此外，SSE5000是为NYPD纽约警察局定制的，SSE5000系列工作于450~488MHz，具备顶部液晶显示器，实质上它的特性与新系列的XTS5000接近，只是外观上与Saber对讲机接近。

新一代的Motorola军警用对讲机以XTS5000和XTS2500为主，支持P25数字集群/常规模式（Motorola 称为ASTRO 25）。Motorola最新款的P25对讲机APX7000也已经发布，从这款对讲机的外形上我们又看到了Saber外形设计的影子。

HAM设备实测报告

◎杨法（BD4AAF）

实测ICOM IC-U82

高性价比的D-STAR入门设备

IC-U82是ICOM公司出品的一款430MHz单频段手持对讲机，它的亮点是可以支持业余电台的D-STAR数字通信模式。国内的D-STAR中继都是430MHz频段，就算在传统模拟制式UHF/VHF段FM通信中，在开通430MHz频段的地区，之前的144MHz频段倍受冷落，很多双频段电台的144MHz波段已经基本成为摆设。在这种情况下，IC-U82作为一款UHF单频段对讲机在实用性上还是很高的，可以被看作玩D-STAR最为实用的廉价入门设备。此外，IC-U82还有一款姐妹机IC-V82，IC-V82是VHF的版本，功能上基本相同，同样支持D-STAR数字通信模式，还提供了7W的超高输出功率版本。IC-U82在功率输出方面保持5W水平，这也是目前UHF对讲机的最高功率输出水平（IC-U82以下简称U82）。

实际性能测试

U82收发射频率范围为400～479MHz，包含我国的409MHz波段20个公众频道。U82默认是常用的25kHz间隔调频FM模式，通过菜单设定可以适合12.5kHz间隔的公众频道对讲机，也称为FM-N模式。

测试设备

Rohde & Schwarz NAP功率计
KIKUSUI PMC18稳压电源
HP5385A频率计和HP58540A参考频率基准
Agilent E4403频谱仪
Rohde & Schwarz CMS52综合测试仪

1. 400～479MHz范围内各个频率点的实际发射功能测试

结果表明U82在整个频段内都有很高的发射功率，不像有些业余机，高功率只能维持在业余频率范围，超出后输出功率下跌严重。由于笔者拿到的U82配的是7.4V锂电池，所以测试使用7.6V稳压电源供电，这样基本与锂电池常态电压相当。测试结果见表1。

表1　　注：测试电压7.6V，H功率挡

频率	400MHz	405MHz	409MHz	415MHz	420MHz	425MHz	430MHz	433MHz
发射功率	4.49W	4.53W	4.56W	4.62W	4.69W	4.77W	4.85W	4.92W
频率	435MHz	438MHz	440MHz	445MHz	450MHz	455MHz	470MHz	479MHz
发射功率	4.96W	4.99W	4.96W	4.91W	4.82W	4.72W	4.44W	4.43W

表2　　注：测试频率435.100MHz，H功率挡

发射电压	6.4V	6.6V	6.8V	7.0V	7.2V	7.4V	7.6V	7.8	8.0V	8.2V	8.4V
发射功率	4.61W	4.67W	4.73W	4.81W	4.87W	4.93W	4.96W	5.01W	5.05W	5.07W	5.10W

2. 发射电压与发射功率测试

笔者发现电压变化对U82发射功率影响不大，U82可以在电池供电时保持较长时间的大功率输出。测试结果见表2。

3. H、M、L三挡功率的实际输出以及在发射时的电流测试

测试结果见表3。

4. 频率误差、频率稳定度、调制度参数的测试

U82的这几项性能都非常好，这样的指标在多频段业余手持机中并不多见，这也可能是单频段机的优势吧。

5. 杂波散射的测试

这项测试结果也非常优秀，二次、三次谐波发射都优于-68dB，比其厂方指标-60dB还好。

6. 接收灵敏度测试

整个400MHz频段内，U82保持了相当高的灵敏度。在业余波段完全优于-123dBm，即使在波段的边缘400MHz和479MHz还能保持-121dBm的水平，相当不错。

7. 耗电测试

U82在正常待机状态（静噪启用）下，电流实测约70mA，并很快进入间隙工作省电状态，平均电流不到30mA，在中等音量正常接收信号时耗电约100mA。

8. 信号表测试

U82的信号表功能比较简单，只有4种状态显示，采用类似移动电话手机信号指示的样式，我们测试了一下4种显示状态对应的具体电平，证明该信号强度显示功能还是具有不错的信号指示意义的，不是那种跨度很小、很容易显示满表的“快乐信号表”。测试结果见表4。

表3

f=435.100MHz @7.6V	输出功率挡	L	M	H
	功率	0.50W	1.99W	4.96W
	电流	0.59A	1.07A	1.77A

表4　　注：IC-U82只要打开静噪功能就会显示天线符号。

显示天线符号	1条线	2条线	3条线
-124dBm	-114dBm	-109dBm	-104dBm

IC–U82与另两款机器

◎外形尺寸：54mm×139mm×36.7mm　◎重量：390g
◎电池配备：BJ-180-L 1800mAh+座充　◎无简易中文说明书

外观与设计

近年来，从VX-5R开始，在业余机型中，爱好者看惯了这类矮胖的超小型设计，U82外观采用ICOM传统的商用机外形，当我们再次看到这种传统对讲机瘦长条的设计外加BNC/Q9天线接口，是不是有种怀旧的味道呢？

U82总体采用商用机简洁流畅的外观设计。机器的左侧是单一的大面积条状硬质PTT按键，此外没有其他对讲机常见的监听键和灯光键。监听键被移植到对讲机正面，与电源开关键和频道选择键构成一排功能按键。U82的PTT按键有较大的行程，无论是正握操作还是反握操作手感都很不错。U82的顶部采用圆弧的设计，没有棱角，机器看上去感觉体积会小一些。在顶部，U82只设计了一个音量旋钮和一个BNC接口的天线座。音量旋钮采用可360°旋转的步进电位器，U82的音频输出标称为300mW，配合较大口径的扬声器声音足够响。在早期的对讲机中，天线接口都是以BNC接口为主，各种转接器都比较好买，U82就是采用这种BNC天线接口。现在的对讲机通用天线接口已被SMA取代，很多第三方天线厂生产的业余对讲机替换天线都采用SMA接口，如果用户打算为U82替换补品天线，需要特别选购BNC接口的产品或者使用BNC/SMA转接器。U82的右侧上部提供外部耳机话筒连接口，与普通的ICOM其他商用对讲机耳机话筒附件通用。在U82右侧的下部提供了一个2.5三段接口的DATA I/O接口，用于与GPS或PC数据线连接。这个数据接口直接支持RS-232电平数据，相当于电脑的串行通信口，在U82的说明书中提供了数据线原理定义图，这样用户就能简单而廉价地自制数据线，DIY数据线无需电阻、电容等电子元件，只需完成对应连接线即可。另外，U82的电脑编程依然采用ICOM传统编程器与主机SP端口连接，与这里提到的DATA数据接口无关。

微型锂电池

提醒

水货版U82随机的电池可能会不一样，ICOM原厂有600mAh、1100mAh的BP-222N/BP-209N镍铬电池和1650mAh的BP-210N镍氢电池以及1800mAh的BP-211N锂电池供搭配，所以大家在比较价格的时候要问清搭配的电池和充电器。

U82的液晶屏采用传统的预设笔画液晶屏，而非眼下流行的点阵屏，显示面积也比较小。液晶屏可显示频率、频道号、信号强度表和一些功能提示符。

U82的电池结构采用前后型，原厂备有薄型电池、高容量电池、锂电池、电池盒可供选择。皮带卡与电池连接固定，国内行货机皮带卡采用卡口形式与电板固定。卸下电池可以看到U82的背部，背板下部有个用螺丝固定的挡板，其下就是安装各种选件板的仓位。

U82支持多种功能扩展单元，包括UT-108 DTMF解码单元、UT-118数字单元、UT-109/UT-110模拟加密单元、UT-114数字语音加密单元。UT-114是基于D-STAR AMBE编码的进一步数字语音加密单元，但它不能替代UT-118的功能，所以打算用D-STAR功能的朋友应该安装UT-118功能单元。

U82左侧面图

U82右侧面图

U82随机配用的17cm天线，性能很

U82顶部图

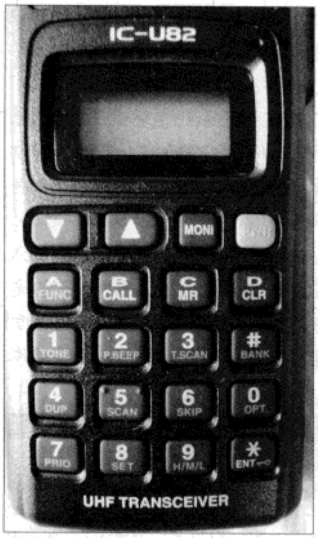
好，没有特殊要求的用户完全不必换天线，天线也比较细软，可以弯折180°。这种17cm钢丝天线属于1/4波长型天线，与其他对讲机为了缩短长度而采用的螺旋天线相比，收发效率要高，比业余多波段对讲机配用的长度又长、性能又平庸的多波段天线效果要好得多，这就是单频段机器的好处。记得当年相对后进入中国市场的美国Motorola对讲机GP88凭借性能打败日系对讲机，其400MHz机种也是采用这种1/4波长天线，起到了一定的作用，当时日系的对讲机为了追求外观小巧，普遍采用外观看上去比较粗短的螺旋天线。

系统与操控

U82整机采用CPU数字化控制，电源是通过橙色“软键”开启的。U82的音量调节虽然通过旋钮进行，但实际上旋钮开关是360°旋转的步进开关，属于数字音量控制，提供用户0～23级选择。U82的静噪水平调整功能是通过组合按键进行数码化设定的，提供用户0～10级选择。U82的频道选择默认是通过面板上功能键区的上下选择键选择。如果用户更多地希望使用步进旋钮切换频率频道也没有问题，可以通过设定互换步进旋钮与上下选择键的功能。总体上基本操作还是比较简单的，只是高级功能设定比较复杂。

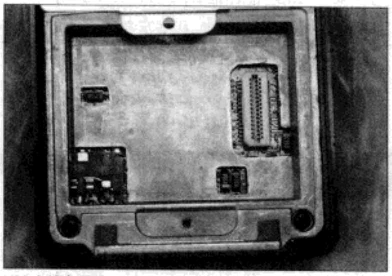
U82的键盘数字区具备DTMF音频发射功能和频率/信道号直接输入功能。每个数字键配合F键都可以实现一个常用功能设定的快捷方式。U82也采用功能菜单方式设定诸多性能参数，一共有3套菜单系统，分别是参数设定系统、功能设定系统和选件功能设定系统。它的菜单没有提供菜单数字编号，只提供了功能名称提示，不过小型预置笔画液晶屏显示内容有限，所以初上手可能会感到不习惯，时常需要参照说明书。

U82具备主流对讲机的全部功能，包括模拟/数字亚音编解码、亚音扫描侦测、频率/信道扫描。U82提供200个存储信道，可以分成10组管理，并可以通过电脑和软件设定，每个频道都可以用字母来命名，方便记忆频道用途。



U82键盘区与显示区

U82显示屏



U82选件安装仓

UT-118数字单元

D-STAR功能

U82在加装UT-118数字单元后支持使用D-STAR数字模式，开启数字语音模式后显示屏下方会出现一个“DV”标志。U82可以应用D-STAR的绝大部分功能，包括各种数字语音呼叫、DV模式下低速数据传输以及GPS数据传输。当然，由于屏幕和软件限制，U82不能像92AD那样直接在屏幕上显示GPS数据。传送GPS数据不需要专用的GPS手持话筒，DATA端口接受标准的GPS NMEA 0183格式 RS232电平信号。

市场上UT-118模块的价格为1000多元，几乎赶上一部U82机器的价格了，真的很贵。不过与IC-91A升级D-STAR的UT-121模块相比，也基本处于同一水平，比IC-2820H升级D-STAR/GPS的UT-123模块要便宜一些。也有一些HAM利用UT-118模块制作D-STAR模式通用适配器，以配合那些设计时不支持D-STAR模式的设备使用。

总体评价

U82属于一款性能卓越的400MHz全频单段对讲机，其基本收发性能可与高品质专业机媲美，并且具备D-STAR数字模式的升级潜力，价格也非常诱人，目前市场价仅为1000多元（不含UT-118模块），是追求高性能设备用户的合适选择，也是选购廉价支持D-STAR机型的较好选择。

编前语：近年来，随着我国业余无线电爱好者队伍的不断壮大，国内业余无线电技术水平也在不断提升，不少由国内爱好者自主设计、生产的业余无线电设备呈现在爱好者面前，甚至走出国门，打破了以往市场中只有国外品牌的局面，这些设备的电路设计、元件选择到加工工艺，都紧跟国际业余无线电技术的发展前沿。从本期开始，本刊将陆续为读者介绍一些“国货”业余无线电产品，希望通过我们对这些产品的实测与介绍，为读者在选购相关业余无线电产品时，提供更明确的参考和更多的选择。

HAM设备实测报告

◎本刊测试员　杨法（BD4AAF）

CG202A天线调谐器试用报告

CG202A天调与IC−7000

CG202A天线调谐器（简称天调）是一款国内生产的通用型自动天调，同时它也具有手动操作模式。作为通用型天调，CG202A不需要使用数据线，非常适合一些没有配置内置天调功能或者不易搭配天调的发射机。作为室内天调，CG202A可以搭配水平天线、正V天线、倒V天线、八木天线、框型天线、宽带天线等常见正规形式天线使用。我们实测中，搭配了业余电台中常用的ICOM IC-7000/IC-718、YAESU FT-897/FT-857、KENWOOD TS-50/TS-480以及专业电台Codan 9360/NGT、宝丽2050，都有很好的使用效果。

基本性能测试

我们主要测试了CG202A天调的功率计/驻波表/频率计准确程度、最大承受输入功率、最小输入功率、调谐幅度与范围。

CG202A天调的调谐分自主调谐（也称初次调谐）和记忆调谐。记忆调谐速度非常快，几乎在瞬间就能调谐到位，没有继电器频繁跳动的声音。自动调谐实测时间大部分在3~6s（对于大部分SWR<3的天线）即可完成。

测试设备

R&S NAP功率计
Bird匹配/失配负载
HP5385A频率计
NAP功率计

1. 功率计/驻波表/频率计准确度测试

由于CG202A可以作为纯功率计/驻波表、频率计监视线路之用，所以我们测试了其功率计/驻波表性能。我们采用一台ICOM IC-7000电台作为功率可调的功率信号源，R&S NAP功率计作为功率定量和驻波比检定，Bird 50Ω匹配负载，75Ω和150Ω失配负载，电缆若干。

进行驻波比表准确度测试时，我们用IC-7000电台输出30W功率、不同频率的FM调制波（稳定的功率），将CG202A设置为手动直通状态(电容、电感量均为零)，分别在天线输出口通过高品质转换头直接与匹配负载和失配负载连接（避免使用电缆造成驻波比变化）。由于负载都是标定阻抗的，所以通过计算很容易知道，当连接阻抗为50Ω、75Ω、100Ω、150Ω负载理论驻波比为1.0、1.5、2.0、3.0。

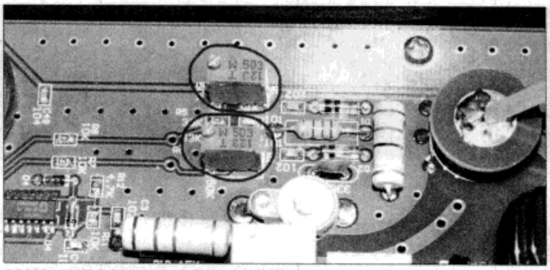
进行功率计准确度测试时，我们用IC-7000电台引出电缆在各个波段输出不同功率的FM调制波，通过NAP功率计调校电台输出端口，达到预定参考功率水平（10W、20W、50W、90W），撤去NAP功率计将引出端口功率输入CG202A，将CG202A设置为手动直通状态，天线输出端直接与50Ω匹配负载连接，最终通过CG202A面板功率

驻波比　频率计读数测试

	Z=50 SWR=1.0	Z=75 SWR=1.5	Z=100 SWR=2.0	Z=150 SWR=3.0	频率计显示
f=3.800 MHz	1.0	1.5	2.0	3.0	3.800 MHz
f=7.050 MHz	1.0	1.5	2.0	3.0	7.050 MHz
f=14.270 MHz	1.0	1.5	2.0	3.0	14.270 MHz
f=21.400 MHz	1.0	1.6	2.0	3.1	21.400 MHz
f=29.600 MHz	1.0	1.6	2.1	3.0	29.600 MHz

功率读数测试

	P=10W	P=20W	P=50W	P=90W
f=3.800MHz	9	19	48	85
f=7.050 MHz	10	20	48	87
f=14.270 MHz	10	19	48	87
f=21.400 MHz	10	19	49	88
f=29.600 MHz	11	21	50	91


CG202A天调内部正反向功率修正电位器

CG202A高功率测试

读数与参考功率进行比较。

测试频率计准确程度时，我们直接比较CG202A面板频率读数与电台频率，辅助采用HP5385A频率计作为监测。实际上CG202A的频率计显示精度为1kHz位，主要用于频率/频段的探测，定位要求不是很高。

根据测试数据，驻波比检测很准确。频率计由于本身显示精度不高，所以基本看不出误差。测试中，在稳定的功率下，频率计计数很准确。在SSB的情况下，如果输入功率比较小，则频率计计数会不稳定，如果使用较大功率则没有问题。数字功率计准确度也很高，基本控制在6%的范围内。要知道，一些在业余电台圈子里大家公认的国外名牌指针式驻波功率计的功率误差指标是10%，数字表比指针表更容易暴露误差。功率计测试必须要在驻波良好的情况下采用较高的准确度，否则驻波较大，没有参考意义。

另外，CG202A的正向和反向功率的数值测量修正，由经典驻波比测量线路中两个50kΩ的多圈电位器调整。

驻波比的数据也是由正向和反向功率的数值运算而来。产品出厂的时候，功率计的准确度与厂家调试密切相关。我们拿到的CG202A在此两电位器上均未封漆，如果用户有校准设备，可以容易地自行调校，修正功率计的误差。

2. 最大承受输入功率

CG202A标称最高承受功率为200W SSB PEP 功率以及150W CW/FM连续功率，我们用一个500W的功率放大器提供较高频率的29.600MHz/50W、100W、200W、250W连续功率输出，以检验CG202A的极限工作状态。我们使用一个500W/ 75Ω的负载器作为负载，并在30W功率的情况下，通过手动模式，将天调调成SWR=1.1，并让天调记忆，这样就能让天调的电容和电感有机会参与工作。然后逐渐加大功率50W/100W功率挡，连续发射一分钟，200W/250W超功率挡连续发射30s，发射中注意天调驻波比是否劣化以及元件损坏，可以停止发射，用手感觉一下电感和电容的温度。

实际测试中，50W/100W功率天调工作非常稳定，在多次200W输入时线圈有些发热，在250W输入时天调依然能正常工作，包括功率显示也正常，只是线圈发热比较明显。由此，不建议用户使用200W以上功率。目前一般业余短波机最高功率也就200W的水平。

3. 最小输入功率

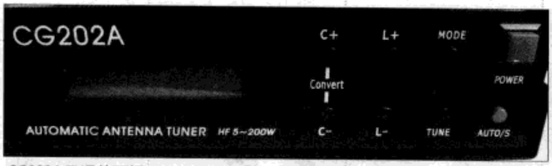
CG202A标称工作范围为5~200W，初次调谐功率为5~30W。过小的功率会使驻波比检测系统无法工作，从而使天调调谐没有参数可依。我们在7MHz和14MHz两个HAM最常用的波段，用IC-7000最小功率输出去尝试启动在失谐状态下的天调，以测试CG202A自动调谐需要的最小功率。

试验结果表明，在7MHz波段，我们使用2.8W功率就能使天调识别信号，并根据原先的记忆信息调谐到正确状态，但此时驻波比表尚不能正常工作，因此也不能进行自主调谐。在14MHz波段，我们使用7W功率，能使天调识别信号，并根据原先的记忆信息调谐到正确状态，但此时驻波比表尚不能正常工作，因此也不能进行自主调谐。当功率提升到12W水平，天调各方面显示都趋于稳定，可以实现稳定的自动调谐。由此可见，CG202A比较好的调谐功率在12~30W水平。测试中我们也将CG202A天调与CODAN的电台连接，CODAN 9360电台在不使用数据线时，调谐信号在40~50W, CG202A一样能顺利完成调谐。

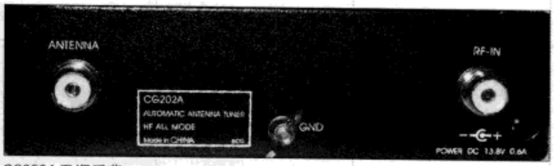
4. 调谐幅度与范围

CG202A厂方资料标称可匹配6~800Ω的范围，从数据上说相当于能够改善低阻抗（低于50Ω）最高SWR 8:1和高阻抗（高于50Ω）SWR最高16:1的天馈系统。我们使用了50Ω、75Ω、100Ω、150Ω作为天线负载，CG202A都能很快进行调谐，自动调谐50Ω负载，串入电容电感量都为零，SWR=1.0。

我们用8枚51Ω的金属膜电阻并联，DIY了一个接近于6Ω的负载作为低阻抗负载，安装到CG202A的天线端口，调谐成功。接着又用10枚51Ω的金属膜电阻并联，DIY了一个接近于5Ω的负载，安装到CG202A的天线端口，调谐不成功。我们用2枚2.2kΩ的金属膜电阻并联，DIY了一个接近于1100Ω的负载作为高阻抗负载，安装到CG202A的天线端口，调谐成功！说明CG202A在高阻抗调谐方面实际是高出标称指标的。



CG202A天调前面板



CG202A天调后背

外观设计

CG202A天调体积不大，外围尺寸约24 cm×20 cm×6cm，搭配小型电台体积正好。

CG202A天调外壳采用上下盖厚1.0mm以上的黑漆铁盒，除了显示窗口和操作按钮以及天线I/O端口外几乎成全封闭状态，一定程度上减少了电磁波的泄漏。天调外壳的底部采用冲压形成4个略微凸出的底脚（如果能设计成安装橡胶底脚就更好了），这样在与电台堆叠摆放时，一来不容易打滑，二来不容易出现“硬碰硬”的情况，划伤电台顶盖。

带背光的液晶显示屏是该天调外观上最大的亮点，可以将天调以及各种测量和设定参数显示其上，包括正向功率、反向功率、驻波比、载波频率、使用电感量、使用电容量等。

信号I/O接口采用短波机最常用的SL16天线座，此外就是电源插座和接地线连接器。接地线连接器采用方便手动操作的元宝螺丝。

内部一览

打开天调的上盖我们就能看到CG202A天调内部主板，内部线路板的工艺要比外壳漂亮得多。

CG202A主板分为2块，一块是负责调谐和驻波比探测的主工作单元，一块是负责单片机和显示的控制单元。PCB制作精良，布局很好，飞线很少。一些元器件的参数也直接标在线路板上，方便有经验的用户自行维修。遗憾的是，随机并没有提供整机的线路原理图。除了一些需要承受功率的电阻部件使用的是传统分立元件，线路板上小型元器件大量采用贴片元件。CG202A属于纯继电器切换型自动天调，采用L型匹配网络，整机分别采用8组固定电感和电容，通过继电器按需接入调谐电路，8组固定电感和电容分别各自构成256级容量变化。按相关资料，匹配电感最大容量可达24.86μH，匹配电容最大容量可达3908pF，由于串入的电感和电容值大，所以可以得到较大的调谐范围，比一些中档电台的原厂天调和机内天调匹配范围要广。目前主流的室内天调FT-450AT、TS-480SAT内置天调、YAESU FC-30（配套FT-897/857）、ICOM AT-180（配套IC-7000、IC-718等ICOM电台）、KENWOOD AT-50（配套TS-50）匹配范围基本在16.5~150Ω（相当于改善SWR 最高3:1的天馈系统）。CG202A的调谐范围已经和国际著名MFJ和LDG一些型号的产品相当。

由于调谐主要靠继电器来切换匹配电感电容，所以，继电器的品质与产品的寿命密切相关。我们手上的CG202A样机采用的继电器为国产HKE汇港的产品，主要有HRM2、HRM3两个型号，其指标是16A/120VAC和10A/250VAC。

在一台CG202A中，由于总共用到17个功率型继电器。匹配用的电感都是用直径1.1~1.4mm的漆包线绕制而成，空心电感绕制非常工整，部分高容电感量的电感采用磁环绕制。

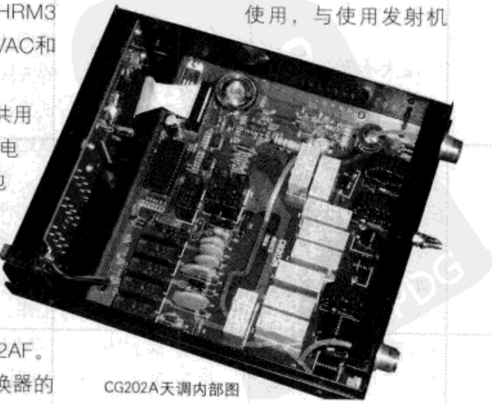
CG202A内部有两大主要集成块PIC16F76和UCN5812AF。PIC16F76为8位高性能带A/D转换器的现场可编程闪存单片机，具有8KB闪存和368B数据RAM。

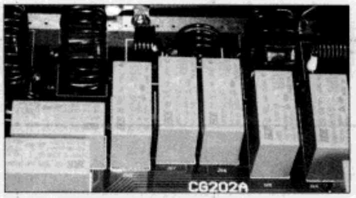
UCN5812AF为20位有源下拉串行输入缓存型驱动器，用来驱动继电器。两集成块都采用双列直插式封装形式，并采用IC插座，方便维修和程序升级。

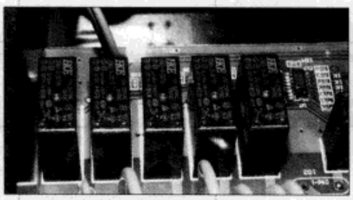
CG202A采用13.8V供电，与常见电台供电电压相同，可以方便地从电台的供电系统中分一路电源供电。CG202A标称工作电流为0.8A，实测静态电流为0.15~0.47A(功耗主要与继电器吸合数量有关)。CG202A没有设计使用保险丝，不过为了防止用户反接电源极性，在主电源电路中串有一个1N5408的二极管作为极性保护，此二极管可承受3A的正向电流，对付整机工作的0.8A电流是小菜一碟。CG202A内部安装有扬声器，用于操作状态提示，告警提示莫尔斯电码。

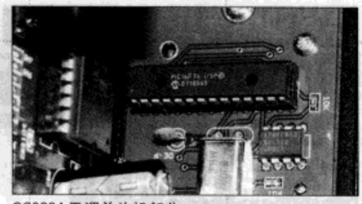
系统与操控

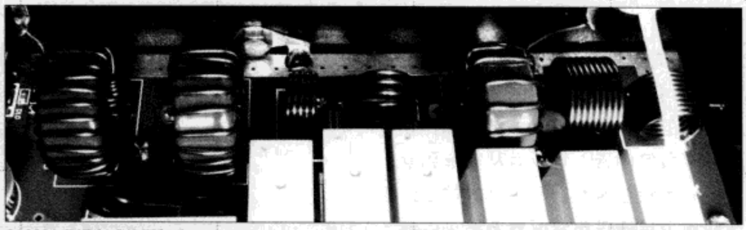
CG202A天调为通用型设计，只需要将发射机天线输出端直接用电缆与CG202A天调的射频输入端连接就能使用，与使用发射机


CG202A天调内部图


CG202A天调使用的继电器1


CG202A天调使用的继电器2


CG202A天调单片机部分


CG202A天调电感线圈部分

的品牌和型号无关，能搭配绝大多数5~200W的常规短波电台，所以也被称为“百搭”天调。CG202A全中文说明书比较简单，图文并茂，介绍了基本操作。

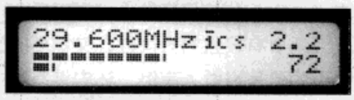
CG202A天调有3种工作模式：自动调谐模式、手动调谐模式、直通模式。由于天调自带液晶显示屏，所以在调谐过程中主要的信息（如正向功率、反向功率、驻波比）都将显示出来，有需要的话，使用的电感、电容量也能显示，使用户对发射机匹配状况一目了然。

自动调谐模式CG202A采用初次调谐与频点数据记忆相结合的方式。CG202A内置频率计和驻波检测单元以及数据存储单元。当一个频率的信号调谐成功后，天调会将有关数据保存在数据存储单元中，下一次再检测到相同频率信号时，就会首先调用数据库中记忆的数据直接完成调谐，而不是从头开始逐渐通过改变电容、电感组合来调谐天线，这样将大大提高天线调谐速度，也将大大减少继电器的动作次数。根据相关数据，CG202A具备8000个记忆频点。如果用户认为有重新调谐的必要，只要按动面板上的TUNE按钮，天调就会依据驻波比大小重新调谐。用户按PTT时，CG202A的频率计就会工作，用来侦测工作频率，然后通过数据库找寻对应的设置参数，实现快速调谐。如果数据库没有相关记录，就开始自动调谐寻找低驻波点。

CG202A天调液晶显示屏

在手动调谐模式下，CG202A允许用户通过面板按键手动修改并入调谐电路的电容和电感量，同时在液晶屏幕上会显示驻波比供用户参考。作为自动天调，CG202A与常见的其他自动天调一样，当检测到匹配调谐到小于一定水平（通常是SWR<1.5），就完成工作了，不会刻意追求SWR=1。而手动模式则可以让用户进一步精密调谐，或者当自动调谐失败时，用户也可以尝试用手动模式调谐。

直通模式也就是天调的电容、电感不参与匹配网络，当天线自然谐振或者传输线匹配良好时，天调就是多余的，使用直通模式可以减少天调的传输损耗。CG202A可以通过将电容、电感量都置零来实现直通模式，此时天调的匹配网络不工作，但监测线路依旧工作，天调此时就作为一台数字驻波比/功率计和数字频率计使用。CG202A的频率计显示精度为1kHz。



CG202A天调图形显示模式

CG202A长按MODE键可进入天调参数设定菜单，包括目标SWR水平设定等。我们在测试中发现，按住一些控制键开机，CG202A会进入特殊的调校状态：如按住C+/C-，开机会显示CAL FWD METER，从字面上的解释是校准正向功率表；如按住L+/L-开机，会显示SET VOLIME，从字面上的解释是设定天调内部提示音扬声器的音量；如按住C+/L+开机会显示CAL CAP AND FWD。这些都是用户说明书上没有提及的，估计是厂方使用的维修校准模式，建议使用者在没有了解确切用法和配备相关校准设备的情况下不要轻易改动设置。不过由此也可见，CG202A具备了一定的软件控制能力，包括按住L+键开机，还能看到软件的版权信息。

总体来说，CG202A是国内业余电台界少见的精品室内天调，除了其性能颇佳外，也是少数可以“看得见”的自动天调，说其“看得见”是指作为自动天调各种测量参数和调节参数都可以通过液晶显示屏让用户看到，不像常见的自动天调只有几个发光二极管显示调谐状态。CG202A如果能在外壳品质和式样上进一步改进，相信能更吸引用户的眼球。

走近业余无线电卫星通信

业余无线电卫星通信必备器材

◎吴国光（BA7IA）

业余无线电卫星通信操作所需要的设备，根据目前正在运行的和即将发射的业余卫星情况，结合操作模式和频段等因素，可以有从简单到复杂的多种组合方案。一个基本的业余无线电卫星通信电台配置方案可以参考图1。在这个基本配置系统中，为了说明方便，也仅仅考虑了操作在B类工作方式和J类工作方式的业余无线电卫星操作。如果需要操作在其他类型的工作方式，则系统中还要增加相应频段的收发信机、放大器、天线系统和控制接口等设备。当然，在实际操作中，对于信号特别强的业余无线电卫星，可以采用更简洁的配置，图2所示是一个最简单业余无线电卫星通信系统构成的例子：用手持的双频段同轴八木天线跟踪业余卫星，用手摆动天线的指向完成对卫星的跟踪，扭动天线轴完成极化的调整，双频段的手机进行卫星信号的收发。比这个更简单的就是天线仅用手持机和鞭状天线来进行QSO！

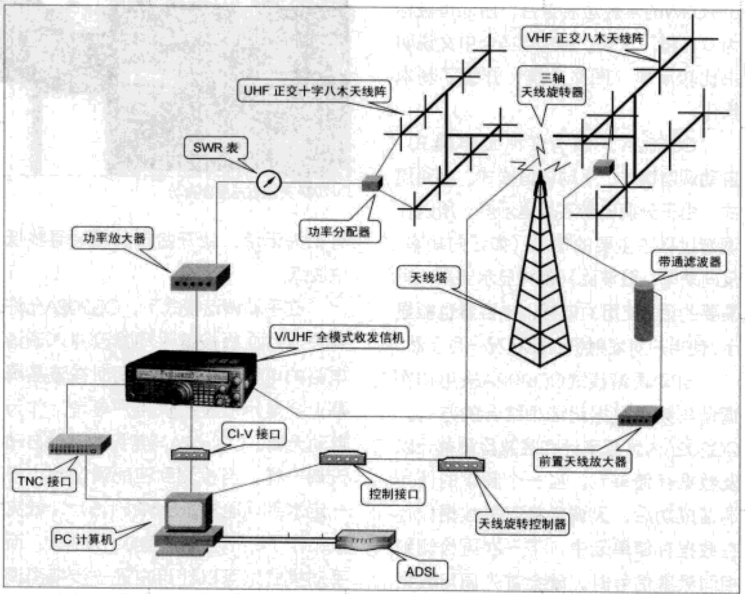


图1 业余无线电卫星通信电台系统基本配置图

图2 业余卫星最简单设备配置

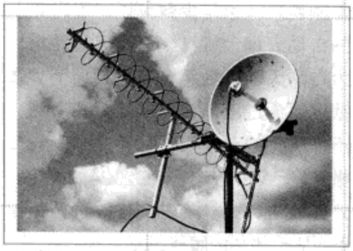


图3 螺旋天线和抛物面跟踪天线

下面分别介绍组成最基本的业余卫星地面无线电台的主要设备。

天线系统

进行业余无线电卫星通信，一般来讲，由于传输损耗较大，所以希望天线既要有较强的方向性，又需要有较大的信号增益。有时，还安装有高增益的前置放大器和大功率的功率放大器，以提高信号的强度。发射和接收天线的增益要根据使用频率和卫星的条件来确定。天线的形式也是多种多样的，可以用最简单的1/4 波长鞭状天线，也可以用垂直地网天线、双偶极天线、八木天线、螺旋天线和抛物面天线等，见图3。

由于原则上上行信道与下行信道分别应用于不同的频段，所以发射和接收要分别使用不同频段的两条天线。实际上通常在HF频段使用的是偶极子或八木天线，在VHF/UHF频段几乎都是用8～10单元的八木天线或螺旋天线，更高的频带使用20单元的八木天线或是抛物面天线，见图4。

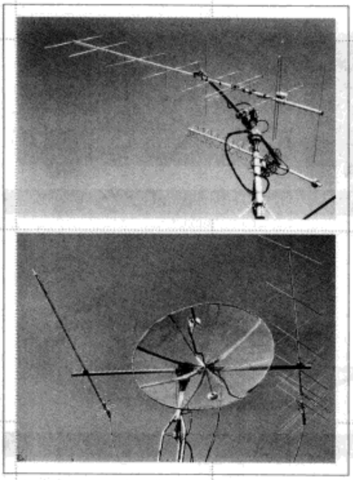


图4 业余卫星跟踪天线

进行卫星通信的天线系统还要考虑极化方向问题。卫星上的发射和接收天线大多使用直线极化或圆极化，如果地面的发射和接收信号都使用圆极化，则应使其旋转方向一致，因此，天线应具备左旋和右旋极化方向切换功能，许多正交十字型八木天线通过一个开关就可以很方便地进行极化切换，见图5。由于低轨道业余无线电通信卫星的姿态变化较显著，因此，其信号的极化也会不断地发生变化，当采用线极化天线时，还需要有一套装置进行极化的跟踪和调整。

当采用八木天线或是抛物面天线等强定向天线时，需要有一套精密准确的三轴跟踪系统配合使用。而对于只操作一些信号比较强的低轨道业余通信卫星的HAM来说，还有一个好的选择，就是采用所谓“打蛋器天线”一类的固定对空天线，见图6。这类天线具有半球状对空的圆极化辐射图，当天线被垂直固定安装起来的话，天线就可以发射和接收掠过整个天空的卫星信号，而不需要专门设置跟踪系统。这类天线结构简单取材方便，很容易自己进行制作，又可以省去昂贵复杂的跟踪系统，见图7、8，因此，很受业余卫星通信入门者的欢迎。笔者将会另文向大家介绍有关“打蛋器天线”的制作。由于业余卫星运行在直接通过头顶的路径机会不是很多，所以，有些HAM利用垂直接地（GP）天线水平无方向性的特点，只用带地网的1/4波长或5/8波长垂直天线就能完成通联。采用这种方法，甚至可以利用车载电台和天线，在汽车移动中进行业余卫星的QSO。但是，不能用太高增益的垂直接地（GP）天线，因为高增益的垂直接地天线，其辐射波瓣角小而低，只有在卫星刚在地平线起来时能收到，卫星飞高后反而收不到了。如同其他业余无线电通信一样，各种业余卫星通信天线也是广大业余无线电爱好者DIY最多的器材之一。很多HAM采用比较简单的材料，经过精心制作和调整以后，一样可以取得良好的使用效果。

业余无线电卫星通信的天线系统还包括所连接的馈线电缆，如同所有的高频系统一样，传输电缆最好能使用低损耗的电缆（如LMR 400、Belden 9913、10D-FB、RG-213U等型号）。为了使电缆对电波信号的损耗最小，连接电缆的长度也应尽量地缩短，如果需要的电缆长度比较长，就要用更粗或者损耗更小的电缆。

业余无线电通信卫星是在我们的上空飞行的，电波大多数是从空中直射下来，因此，架设业余卫星通信天线的地方要求尽可能有开阔的天空，天线附近楼房等障碍物的阻挡会使与业余通信卫星的通信时间缩短，效果变差。

收发信设备

在业余无线电卫星通信系统中，收发信机的性能直接影响通信的质量。对于接收部分要求有比较高的灵敏度，低的噪声系数和应具备较强的抗干扰能力。对于发射部分要具备必要的输出功率。一般来说收发信机的发射功率不用太大，只要保证卫星能很好的接收就可以了，通常若用八木天线阵的话，发射输出功率有几十瓦就足够了。业余无线电卫星通信要求收发信机的工作频段与业余无线电卫星的上行和下行频段一致。有些业余无线电卫星上行、下行的频率和电波调制模式相差很大，这要求收发信机能够工作于双频段双工全模式。

有条件的业余无线电爱好者搞业

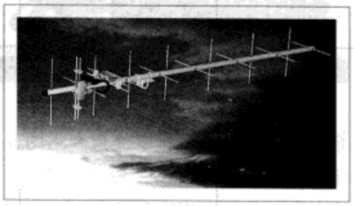


图5 正交十字型八木天线

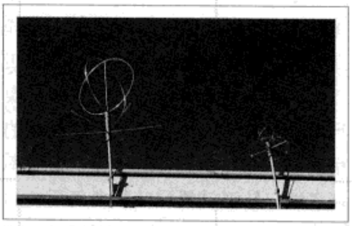


图6 打蛋器天线

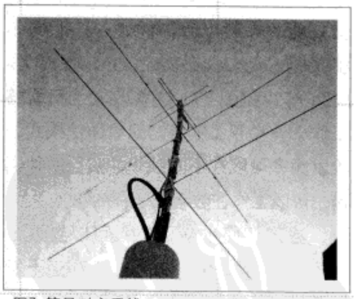


图7 简易对空天线

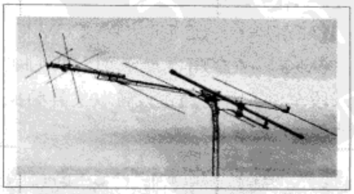


图8 简陋的天线

图9 (a) IC-910

图9 (b) FT-847

图9 (c) TS-790S

图10(a) FT-8900R

图10(b) TM-D700e

图10(b) IC-2820

余无线电卫星通信可以使用专用的业余无线电卫星收发信机，例如ICOM IC-910 IC-821，YAESU FT-736 FT-847，KENWOOD TS-790S 和TR-751等，见图9，这些收发信机能够工作于全模式，并且能够在V/U/L等频段异频双工工作，收发频率可以在不同频段并实行单独调整或连锁调谐，频率调谐的精度高，与电脑连接的接口，使频率调谐能与轨道计算程序配合使用，具有自动补偿多普勒偏移的功能。

一般的操作可以采用具有卫星通信功能的车载电台，例如YAESU FT-8900R，Kenwood TM-D700，ICOM IC-2820等，见图10。这些收发信机能够工作于异频双工的专门卫星通信模式，收发频率可以在不同频段并实行单独调谐，可以工作在数字DV和FM模式。

在入门级的应用中，可以立足于采用现有的设备，采用一台对应于发射而另一台对应于接收这样两台普通VHF和UHF收发信组合的操作模式，例如YAESU FT-100D FT-817，ICOM IC-706MKII IC-7000等。甚至可以用V/UHF双段车台或手台通过设置收发异频操作模式进行操作。

跟踪控制系统

由于低轨道业余无线电通信卫星运行周期较短，一般几个小时就绕地球一周，越过天空的速度比较快。所以，当使用高增益定向天线时，为了更好地跟踪卫星，天线系统还应具备自动跟踪的功能。一般把发射和接收天线集中安装在可延伸水平轴和垂直轴旋转的“三轴旋转”云台上，见图11，由机房里的操作者或者轨道计算程序进行控制完成跟踪动作。低轨道业余无线电通信卫星的运行速度特别快，要与低轨道卫星通信，跟踪系统需要驱动天线阵在几分钟之内就要在卫星可见时间内准确地跟踪，跟踪旋转器平台承受的载荷比较大，需要在设计和施工时予以考虑。由于目前业余无线电通信卫星多为沿倾斜轨道绕地球旋转的，卫星可能从各个方向和不同高度掠过天空，所以必须采用天线的仰角和方位角分别控制的三轴跟踪控制旋转器。业余无线电通信卫星在空中运行时，电波的极化也在不断地变化着，因此，在比较完善的天线跟踪系统中，还需要一个旋转天线轴调整天线极化的旋转控制器，总合起

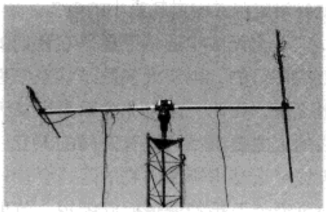


图11 (a) 三轴卫星跟踪天线

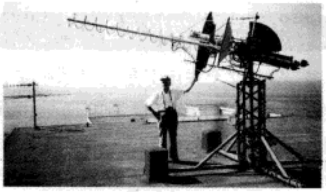


图11 (b) 多频段三轴跟踪系统

图12 手动跟踪卫星操作

来就构成对天线的仰角、方位角和极化分别控制的所谓“四轴跟踪控制系统”。

在个人电脑十分普及的今天，有许多HAM开发出自动跟踪卫星轨道的软件，可以从有关业余卫星软件的网站上下载。当天线系统安装完成后，首先对天线跟踪系统进行定位对正，在程序上设置好电台所在地的经纬度，校准时间并更新星历。这样程序就会根据所设定跟踪卫星的星历自动计算出卫星实时的仰角和方位角，然后，由计算机接口控制驱动天线的仰角和方位角旋转控制器，使天线始终指向卫星，实现对卫星的跟踪。

如果所操作业余通信卫星的轨道比较高，移动速度会比较慢，这样由于天线的指向波束有一定的宽度范围，也可以采用手动调节天线来实现跟踪功能，见图12。

前置天线放大器

接收前置天线放大器除了用于补偿传输馈线的损耗以外，更重要的功能是提高信号的信噪比。当接收机与天线之间的电缆损耗不能忽略，或者接收机的噪声指数比较高时，需要用前置天线放大器在低噪声条件下放大天线的接收信号，使信号强度和信噪比达到适当的值。接收前置天线放大器可以自制，低噪声前置放大器一般采用GaAs FET或HEMT FET等低噪声场效应器件制成。为了减小信号的损失，接收前置天线放大器通常安装在离天线馈电端较近的地方。有些厂制的接收前置天线放大器是通过接收信号同轴电缆供电，不需要另外架设供电线路，安装使用非常方便。

功率放大器

在电缆较长，功率损耗较大时，功率放大器设置在天线附近向天线提供必要的发射功率。功率放大器可以采用电子管和晶体管构成，VHF/UHF功率放大器厂制和自制的都有，频率超过1.2GHz的就以自制的为多。使用大功率的放大器需要注意供电的稳定性和设备的散热问题。

滤波器

一般发射和接收天线安装在同一场所，互相之间会产生耦合干扰。为防止大功率发射机的高次谐波和寄生信号干扰接收，可以在适当的地方根据需要使用滤波器。由于在业余通信卫星的下行频率附近有可能存在一些本地的大功率使用者，在天线之后加入窄带空腔滤波器，能有效地滤掉接收频率附近的强信号，防止接收的前置天线放大器过载抑制，使从卫星下来的微弱信号可以正常地被解调出来。

数字通信设备

如果需要使用分包通信数据模式来进行业余无线电卫星通信的话，还需要调制解调器（TNC）、个人电脑以及相应的软件。现在已经有D-STAR数字通信系统的业余无线电收发信机，在这类机器里面已经嵌入了数字接口，因此，采用这些机器进行数字通信时，就可以省略TNC，只需要个人电脑以及相应的软件就行了。Ⓦ

小知识

太空中的业余无线电通信卫星

分类	名称	运行轨道	倾角	运行周期	工作频段	备注
CW/SSB通信卫星	OSCAR 29 (FO-29)	1323km×800km	98.5°	106.44min	上行：146.00MHz～145.900MHz，下行：435.800MHz－435.900MHz	
	OSCAR 52 (VO-52)	646km×607km	97.2°	97.24min	上行：435.220MHz－435.280MHz，下行：145.870MHz～145.930MHz	现在的SSB/CW业余通信卫星之王
FM通信卫星	OSCAR 51 (AO-51)	818km×696km	99.9°	99.97min	上行：435.300MHz，下行：145.920MHz	
	Saudi-OSCAR 50 (SO-50)	713 km×603km	64.5°	97.89min	上行：145.850MHz，下行：436.795MHz	
	ARISS 国际太空站	353km×341km	51.6°	91.48min		最新情况见www.amsat.org
	RS-30	1516km×1485km	82.5°	115.6min	只在432.215MHz和435.315MHz上用FM发送遥测信标信号	尚在测试阶段
数字通信卫星	ORCAR 16 (AO-16)	794 km×778km	98.2°	100.58min	上行：145.900MHz、145.920MHz、145.940MHz、145.960MHz，下行：437.026MHz、437.051MHz	几瓦功率即可通联
	Gurwin-OSCAR 32 (GO-32)	816km×814km	98.5°	101.19min	上行(FM)：145.850MHz、145.890MHz、145.930MHz，下行(FM)：435.225MHz；上行(L/U)：269.80MHz、1269.80MHz，下行(L/U)：1269.90MHz、435.225MHz	
	PCSAT-2	安装在ISS（国际太空站）上			145.825MHz(FM)	最新消息见www.issfanclub.com/status/?mode=packet
	Navy-OSCAR 44 (NO-44)	799km×789km	67°	100min	145.827MHz(APRS)	
高轨道通信卫星	P3-E (Express)	36000km×2500km	63°			尚未发射，最新消息见www.amsat.org/amsat-new/express/index.php

走近业余无线电卫星通信

如何进行业余无线电卫星通信

◎吴国光（BA7IA）

业余无线电卫星通信并不难，但一定要多听和勤于操作实践。理论上的东西永远只是理论，只有积极地实践才能掌握和体会到其中的奥妙和乐趣。和短波业余无线电通信不同，业余无线电卫星通信几乎不受天气、季节和白天黑夜的影响。有些国家和地区的HAM虽然只有VHF/UHF波段的操作执照，但是凭着锲而不舍的精神，通过业余无线电通信卫星操作，进行DX通信，照样可以获得DXCC奖状，享受到DX通信的乐趣。很多爱好者随随便便站在广场中、河堤上、沙滩边或者船头等，手拿着个八木天线，对着大致的方向就能很好地进行业余无线电卫星通联，见图1，甚至比你用VHF频段，站在地面，通联一个50km以外的电台要容易得多。

寻找业余无线电通信卫星

首先，通过登录AMSAT官方网站www.amsat.org/amsat-new/satellites/status.php了解现在有哪些业余无线电通信卫星还能用，在该网页的表中，绿色标记说明该功能有效，橙色标记说明该功能只能有限度操作，而红色标记说明该功能已失效。有关ISS（国际空间站）上业余电台的工作状态可以参考 www.issfanclub.com。

操作业余无线电通信卫星和操作地面的业余中继台最大的不同，就是业余通信卫星是围绕地球快速运动的，不断地在我们的上空掠过。因此，要进行业余无线电通信卫星操作首先就要知道卫星究竟在哪里？这些业余无线电通信卫星都在什么时间经过我们的上空？

在过去，这个问题曾经成为困绕着许多业余无线电卫星通信爱好者的一大难题，因为他们需要使用复杂的计算公式，根据有关杂志上刊登的卫星轨道参数，自己进行复杂的推算，很多时候还需要根据自己实际观测的结果，对所计算出来的数据进行修正。这要求操作者不但有丰富的卫星空间运行轨道的知识，还要求具有很高的数学运算能力，而且计算出来的也只是一堆坐标数据，距离普通人容易直观理解的轨道图形还有很大的差距。这正是以前一直有人认为业余通信卫星操作神秘莫测、使人望而却步的原因。但是，今天随着个人电脑的普及，人们已经开发出很多卫星预测和跟踪软件，通过互联网可以使数据资料随时进行更新，软件可以自动地调整天线旋转器和收发信机的频率调谐器，越来越多的HAM通过这些软件的帮助轻松直观地完成在轨卫星的跟踪，使业余通信卫星操作成为像地面上的业余中继台一样容易，方便使用。

图1 休闲地进行业余卫星通信

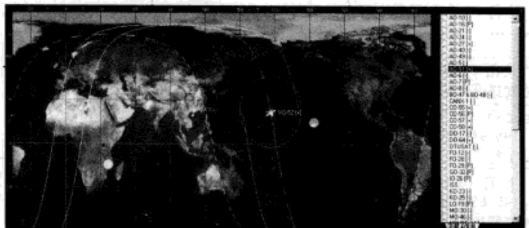


图2 Orbitron软件界面

在众多的卫星预测和跟踪软件中，笔者认为最值得推荐的是Orbitron这个软件，Orbitron 大概也是此类软件中最容易使用和功能最强大的一种了。Orbitron 是为业余无线电爱好者及希望目测观察卫星的追星爱好者设计的免费卫星追踪软件，软件可以用实时或模拟方式显示任意时刻卫星与地球的相对位置，并能直观地以全屏幕显示在一张世界地图上，这套软件由于性能卓越和功能强大，已经被气象专家、卫星通信、UFO研究玩家和天文爱好者广泛采用。

软件可以在www.stoff.pl/上下载，

进入到Orbitron的主页里，点选中国国旗，屏幕跳出简体中文版的下载画面，按照网页上的指示就可以下载到Orbitron的最新简体中文版。虽然软件欢迎大家免费下载使用，但软件的作者希望获得使用者寄给他一张风景明信片并把你的使用心得和建议写在上面，在Orbitron主页里有全球几千位使用者的使用心得。

Orbitron的主要功能：

◇可同时追踪2000多颗卫星，可以在屏幕上显示太阳和月亮的位置。

◇全屏显示及简报模式显示。

◇功能先进的过顶时间预测及卫星轨迹搜寻。

◇可以通过NTP服务器自动校正电脑内部时钟。

◇可以通过互联网自动更新星历数据(支持ZIP压缩格式)。

◇可控制无线电台进行多普勒频移补偿及控制卫星天线跟踪器。

◇内置一个屏幕保护程序。

Orbitron软件界面如图2所示。

笔者在神州7号飞船升空的时候，在网络上找到了它的星历文件，用Orbitron软件对神州7号飞船进行了实时的跟踪，软件所显示的运行轨迹，和在电视直播中航天中心里大屏幕上显示的一模一样！软件显示的卫星跟踪图如图3所示。

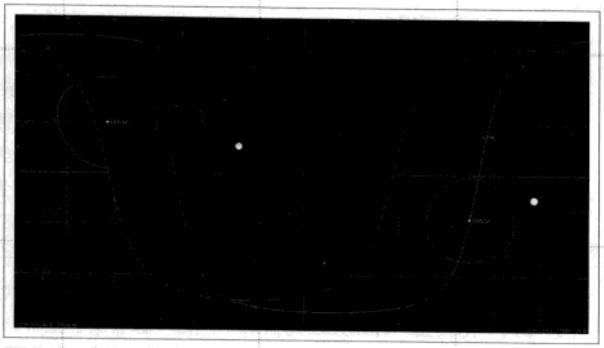


图3 Orbitron软件卫星跟踪图

通过Orbitron这个软件，你既可以确定卫星从哪里来，也可以确知卫星什么时候出没，还可以了解卫星上转发器的操作频率，困扰业余无线电通信卫星操作的难题就这样都解决了。

如果你嫌Orbitron软件的设置和经常需要更新星历及校正时间等很麻烦，还可以登录到一个德国的卫星跟踪网站：www.heavens-above.com（见图4）。这个网站本来是专门为各地天文爱好者服务的，用于目视观察或者拍摄卫星用。在网站里自然也可以查到非常多的有关业余无线电通信卫星的数据，而且你再也不用费神去更新星历和校正时间。在此，你不得不惊叹互联网世界的神奇和伟大。

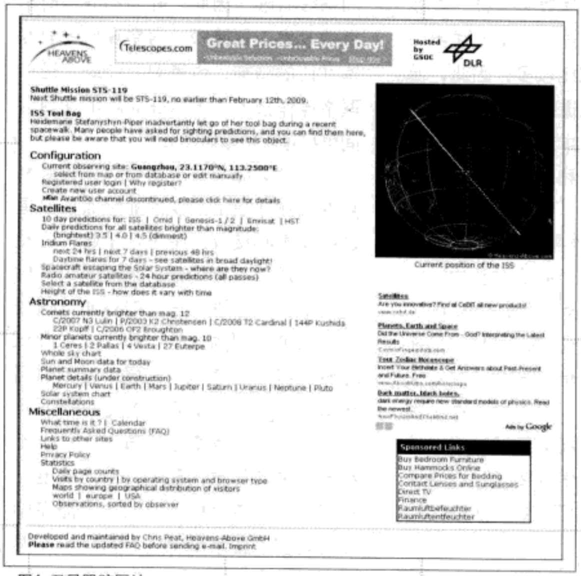


图4 卫星跟踪网站

为了方便，这里给出几个地点的直接信息，点击就可以得到所有24小时经过当地的业余无线电通信卫星：

广州：www.heavens-above.com/amateu...angzhou&TZ=ChST。

北京：www.heavens-above.com/amateu...Beijing&TZ=ChST。

上海：www.heavens-above.com/amateu...hanghai&TZ=ChST。

大连：www.heavens-above.com/amateu...=Dalian&TZ=ChST。

沈阳：www.heavens-above.com/amateu...henyang&TZ=ChST。

使用业余无线电卫星进行的通信与地面上的业余无线电通信有许多不同之处，其主要特征如下：

◇业余无线电通信卫星可以看成是在宇宙中飞行的中继器。因此，只要能“看到”卫星，就意味着电波可以通达，在使用上就与地面通信相同。

◇在地球上的业余电台看来业余无线电通信卫星的相对速度变化较大时，地面与业余通信卫星之间的通信频率会出现多普勒频移现象，这时必须进行频率补偿。多普勒频移的基本规律是业余通信卫星飞近时频率变高，当业余通信卫星远离我们的时候，频率会变低。

◇业余无线电通信卫星的方向随着时间而变化，需要不断地调整天线的方向，使天线射束对准卫星。

◇通过业余无线电卫星转发的电波在到达对方电台（或回到本电台）时，会产生不可忽略的时延，在摩尔尼亚轨道或静止轨道上会产生1/4s的时延。此外，在长距离的传播过程中，

电波强度也有很大衰耗。

业余无线电通信卫星的操作

现在让我们开始业余无线电卫星通信体验之旅吧。

首先开始的第一步是学习收听业余通信卫星的信号，通过接收业余卫星信号来学习体会业余通信卫星联络的规范和跟踪业余通信卫星的技巧。先选择信号比较强、容易接收的业余通信卫星进行跟踪接收实验，例如AO-51、VO-51和ISS等业余通信卫星，其中根据许多HAM反映，最容易收到的是ISS的信号。为了提高接收的成功率，最初可以只尝试接收业余通信卫星的信标信号（只用耳朵体验接收信号效果，不对信号进行实际解调），这是因为业余通信卫星上的信标信号是长期发射的，比较稳定而且有规律，很容易被识别接收。

通过上面介绍的软件和方法去了解卫星的操作频率、出没时刻和在空中运行轨迹等必要的参数。提前检查好包括收发信机、变频器、前置放大、天线及馈线等各个环节设备的情况，让天线对准卫星出现的地方，然后把收发信机调谐在业余通信卫星的下行频率附近守听，收发信机的电波调制模式要与你所接收业余通信卫星的操作电波模式相一致。对于接收ISS国际空间站的信标信号，你就把收发信机调整到145.825MHz packet信标频率上，机器放在FM模式上，并打开静噪进行守候。当业余通信卫星出现时，由于多普勒现象，卫星下来的信号频率会变得稍高一些，你可以试调整接收的频率往高5kHz搜索。当业余通信卫星信号出现时，会感觉从收发信机上出来的噪声被压低，细微得像以前BB机台发出的“叽咕”声音，这时可以通过微调天线方向、极化以及接收频率使信号更清晰。随着卫星的接近，信号也会由弱变强，信号的频率则逐渐降低，当卫星最终从地平线消失时，信号的频率最低，可能要调整到145.810MHz左右。需要注意的是，根据卫星掠过天空轨迹高度的不同，同一个卫星通过时其多普勒频移量都不一样，最大的多普勒频移量发生在卫星掠过头顶的轨道上（在Orbitron软件的“旋转器/电台”标签里有多普勒频移量的预测值和实时值，见图5）。整个跟踪过程就是天线和接收频率不断调整的过程。而采用“对空天线”，你就不用费神调整天线，而能够专心致志地调整接收机上的信号。当接收操作已经熟练以后，可以在网络上找解调业余通信卫星信标信号的软件，把接收机输出的信标信号送往电脑，看解读出来的数据是什么内容。

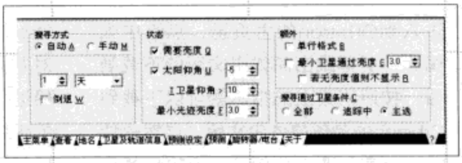


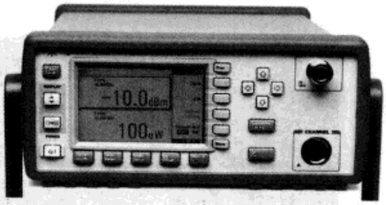
图5 Orbitron软件预测设定界面

对信标信号的接收操作熟练以后，可以把接收频率调到业余通信卫星的下行频率上去守听。对于ISS是145.800MHz，对于AO-51是145.920MHz。当业余通信卫星上有HAM在进行通信时，就像我们收听到地面中继台的信号效果一样。在我们的东边邻国日本进行业余无线电卫星通信活动的HAM比较多，因此，通常跟踪收听运行轨道处于通过我们的东边能够覆盖到日本的业余通信卫星时，能够听到呼叫和通联信号的机会比较多。

当跟踪收听的操作得心应手以后，可以尝试在业余通信卫星的上行频率上发射。在发射信号前先要确定业余通信卫星没有正被其他HAM使用，一般当业余通信卫星运行在处于我们西边的轨道上，覆盖区不在日本时，业余通信卫星就会显得空闲。按照多普勒频移量补偿的要求，适当地调整发射频率，然后向业余通信卫星发出短暂的呼叫。由于我们和业余通信卫星之间存在一定的距离，电波经过业余通信卫星的转发再回到地面来需要一定的时间，所以，下行信号会出现一些时延。当你向业余通信卫星呼叫以后，如果你的发射信号能够被业余通信卫星接收并转发成功，在下行频率中你就能听到像回声一样效果的自己呼叫的声音。在你的发射信号能够被业余通信卫星转发以后，可以试验减少你的发射功率，以掌握用最恰当的发射功率完成通信，以免对业余通信卫星造成损害和对其他HAM造成干扰。积累了实际操作经验以后，你可以进一步对其他的业余无线电通信卫星进行跟踪，不断进行各种通信方式的试验和联络。

通过业余无线电卫星进行通联的呼叫和联络程序，与通常的业余无线电联络程序并没有很大的区别，但是由于业余无线电卫星的通带和联络时间都很有限，因此，呼叫和联络时信息的收发应更简短，需要操作者有互谅互让的精神，也需要有熟练快速的联络操作技术，争取在有限的连通时间里尽可能地多做QSO。

业余无线电卫星通信可体会到利用在预测轨道上出现的业余通信卫星进行发射和接收的阶段性乐趣，以及在业余通信卫星的覆盖范围的边界附近与对方电台进行争分夺秒通信的惊险场面等不同的体验，还可以了解到高频无线电波穿越大气层所发生的很多有趣的现象。能够用微波进行DX通信也是一件非常奇妙的事情。业余无线电卫星通信激发我们探索无线电波在深空的神奇之旅，对操作者提高操作技巧和设备水平都会有积极的促进作用。



二手射频功率计的选购

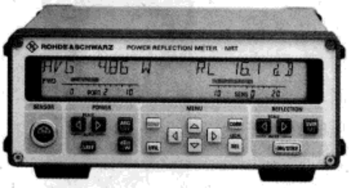
◎聆听

射频功率计是用于测量无线电发射设备发射功率的仪器，属于RF射频设备。在仪器中还有测量电力消耗的交流功率计和测量光谱能量的光功率计等，它们都简称功率计，但用途不同。

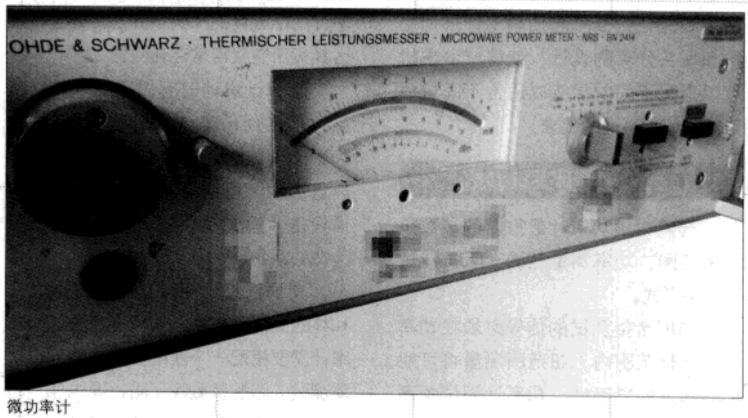
射频功率计的分类

射频功率计按照接入电路的形式可以分为通过式功率计和终端功率计。通过式功率计测量时是以串联形式接入电路，类似于以前介绍过的驻波比表。通过式功率计相对终端功率计功能较多，给通过式功率计搭配匹配负载后就能直接测量射频功率，此时等效于终端功率计。用户自行连接的负载单元如果不完全匹配（由于品质不够好的接头和馈线引起的劣化），会直接影响功率测试的准确度。通过式功率计通常还可以测量系统中正向功率和反向功率，由此，用户可以通过计算或者查表得出系统的驻波比数值。有的产品还能直接提供驻波比显示功能，如“功率&驻波比表”是多功能二合一的产品。终端式功率计内置有良好的匹配负载，由于负载匹配性有原厂装配作保证，所以测量准确度不受外部负载匹配情况的影响。有的终端式功率计提供双通道功率测试模式，在科研和仪器校准计量上用得较多。

HP 指针表



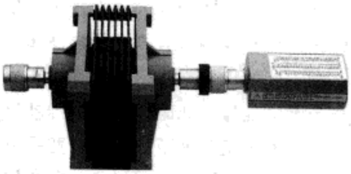
R&S数显功率计



微功率计

射频功率计按照数据结果的输出方式可以分为指针表和数显表。因为指针表指示系统相对简单，所以广为中低端的产品和老产品所采用。由于指针功率计表面刻度不是等分的，所以指针表在读数时容易带来较大的误差，尤其是精确读数。目前中高档的功率计多采用数字读出数字显示，优点是没有读数误差，缺点是显示一些动态变化的信号（如SSB信号）时响应速度有限，为此有的数字显示功率计设计了PEP测量、平均值、最大值保持、高响应速度液晶条模拟显示等附加功能加以改善。

射频功率计按照测量功率的频率范围可以分为短波功率计、VHF功率计、UHF功率计、微波功率计。射频功率计必须测量在其设计频率范围中的信号，如果测量信号超出设计范围，其测量准确度将会受到影响。虽然实际使用中，一些中高档功率计在频率范围的标称上留有一定余量，测量略微超频的信号依然比较准确，但一般还是不推荐这样使用。射频功率计按照测量功率的能量范围可以分为微功率计、普通功率计和高功率功率计等。



衰减器与探头

微功率计通常指测量毫瓦级及以下信号功率的功率计，微功率计通常比较精准，制造成本和销售价格比普通量程的功率计要高得多。通常普通功率计的测试功率范围可在零点几瓦到几百瓦，是普通无线电发射机测试中用得最多的功率计。高功率的功率

计通常指可以连续测量1000W以上功率的产品，通常用于广播电视和雷达输出功率的测量和监测。实际应用中小量程的功率计可以通过外接衰减器扩展量程来测量比较大的功率，但若用高量程的功率计来测量微小信号，其读数（指常见的指针表）和准确度都很难保证。很多高档功率计采用主机和探头分离的设计，使得一台主机可以搭配不同的探头以适合不同量程范围和频率范围的要求。

射频功率计关键参数

选购射频功率计最重要的参数是频率范围、功率测量范围、阻抗特性和结构形式。

你所希望测试的信号必须在功率计的指标范围内，超范围测量将可能影响测量的准确度。功率计测试频率范围是一个区间，由功率计或探头设计决定，支持高频率的功率计不一定能用于低频率测量。有的功率计通过选配不同的探头来测量不同频率和功率范围的信号，此时探头的指标就是功率计的测量频率范围指标。宽频率范围的功率计应用范围更广，但通常价格也更贵。

你所希望测试的信号必须在功率计测量功率范围之内，并最好有适当的量程以便读数。过大的信号将直接损坏功率计或探头。虽然前面提到，理论上设计测量小功率的功率计通过衰减器可以测量较大功率的信号，但实际上另外购买大功率衰减器也不便宜。对于功率计来说，功率测量范围并不总是越大越好，尤其是对于指针型表，希望测试的信号需要一个适当的量程，这样有利于读数的准确性，一般要求指针偏转20%~80%范围比较好，具备多量程切换的功率计是我们推荐的。有的功率计选用不同量程，需要更换不同的探头，而二手的功率计往往成套的探头不会怎么齐全，那么其实用性就常常存在问题。

BIRD 43 功率计

功率计设计时有固定的阻抗，常见的有50Ω和75Ω。测量输出系统的功率必须完全匹配阻抗特性，否则将严重影响测量结果的准确性。通常通信设备多为50Ω系统，而广播电视多为75Ω系统。

前面已经介绍过功率计有通过式和终端式两种类型，如果选择通过式功率计需要搭配一个匹配负载才能进行功率测试。匹配负载除了阻抗要求外，还有承载功率的要求，承载功率过小的负载容易被烧毁。简单地说，你打算测量几瓦的功率就需要准备不小于这个瓦数的负载器，同时该负载器的频率特性要高于你测试信号的频率。

功率计的实用性问题

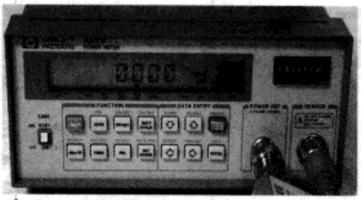
很多朋友都希望利用有限的资金购买性能更好的测试仪器。选择二手功率计需要注意购买产品的实用性，选购功率计的量程要适合实际测量功率的需要。比如在二手市场上BIRD（鸟牌）的43型功率计比较常见。从产品的性能指标来说，它要优于日本DIAMOND和REVEX常见的SX-1000和W570功率计驻波比表，新品的价格也远高于SX-1000和W570，但其实用性却并不一定很高。究其原因，BIRD 43型功率计的不同频率范围和功率量程要靠更换不同的探头单元，通常一套比较常用的频率和量程的探头组合有十几个之多，不像REVEX W570表不需要任何附加件，各种功率量程通过表上的开关就能切换。通常二手的BIRD 43型表只配1~2个探头，覆盖频段有限、量程固定，如常见配100~250MHz/250W探头的BIRD 43型，如果要测量430MHz的信号就必须更换对应的探头。BIRD 43型功率计的二手探头在二手市场上非常稀少，二手仪器商早就知道这个问题，常收集热门型号的探头卖高价，至于新的探头价格比买一个二手表都高，二手仪器用户不一定感兴趣。

探测单元

有的用户认为买大功率范围的功率计更划算，其实对于只有固定量程的表来说未必如此，还是以BIRD 43型功率计为例子。二手市场上很多BIRD 43型功率计原来都是用作寻呼台现场测量设备，所以大多配VHF（100~250MHz）250W的探头。初看起来0~250W的测量范围很宽，原来寻呼台用于测量100~200W发射功率正合适，但由于固定量程，如果用于测量只有1~5W输出的手持对讲机就很难保证读数的准确性。我们试想一下，3W输出功率的对讲机在250W满刻度的量程中表针的偏转角度有多少，就算不

REVEX W570

BIRD 4304A 功率计



HP 437b功率计主机

计仪器设计小角度偏转的准确度，就读数而言，难度就很大，如果此时有个5W量程的探头就要理想得多。相对而言，具备宽频率范围和量程切换的BIRD 4304A功率计就非常实用，它一个固定探头可以通过开关切换5、15、50、150、500量程。

二手市场上有不少缺探头的名牌功率计主机，常见的有HP 435B/436A/437B/438B等，有时价格还非常诱人。但没有探头的主机基本没有实用意义，而且探头不容易配到，即便有价格也不便宜，能够碰运气买到廉价探头的机会很少。因为探头故障是高档功率计常见的问题，由于输入过大功率导致烧毁探头和探头连接电缆损坏是最常见的，所以在二手市场上一直是主机比探头多，即使有探头也不一定是好的。因此，在选购中高档功率计时，一定要问清是否包含探头以及探头的测量范围，这很重要。

功率计与驻波比表

功率计和驻波比表在一些功能上是重叠的，不过大家的侧重点不同。终端型功率计不具备驻波测试功能，通过式功率计增加驻波比测量，作为附加功能，只是举手之劳，而且驻波比测量比较准确。驻波比表也可以将功率测量作为附加功能，要保证大范围功率测量的准确，对检测电路的要求很高，很多驻波比表的功率误差指标不高。

特殊信号功率的测量

以上介绍的大多是针对常规稳定信号（如CW、AM、FM）测量的功率计，对一些时分信号、脉冲信号、宽带信号的功率测量，则需要一些专用仪器，如GSM/CDMA移动电话/基站的功率测量，宽带信号的测量，TETRA/IDEN信号的测量。通常除了专门的功率计外，还可使用频谱仪并配合适当的软件。

功率计著名品牌

国际著名的功率计品牌有Agilent/HP、R&S、安立、BIRD等。在现场测量和业余电台应用中，日本的DIAMOND和REVEX以及美国的MFJ品牌应用得比较多，价格也相对便宜。

功率计的验收与校准

第一步看外观。要求外观基本完整。对于指针表，要求表针摆动灵活，没有卡位和表针弯曲变形的情况。对于小体积仪器的指针表，我们可以晃动一下表头，看看指针的表现。表针应该零位准确，二手仪器由于储运条件不好，常常造成指针零位偏移，一般指针表头下都有一个零位校准孔，通过螺丝刀可以在一定范围内调校指针零位。如果通过此调零装置还不能调节到正确的零位，说明表头可能有故障。对于严重不归零的表头将影响功率测量的读数。由于功率计指针表盘是专用非等分刻度，所以只能替换原厂配件，不太可能买到通用表头。如果你是动手高手，也可以考虑用同灵敏度的表头，然后通过移植表面来维修。对于数字显示表，要求液晶显示正常，无破损和漏液，如果是8字数码管显示的，要注意检查是否有缺笔画的情况。

第二步看面板开关和高频接口。要求各种开关活动灵活有效，尤其是一些导电橡胶型的开关，由于使用年限和环境的影响比较容易失效。高频接口要求没有严重的氧化。

第三步看机内部件，对于很多中高档功率计都需要外部供电，有的内部还有电池。所以我们有必要打开机壳检查内部线路板，重点是电池和电解电容有否漏液腐蚀线路板，对已老化的电池应及时更换。对于功率计内的高频部分，尤其是一些有独立屏蔽罩的部分，注意不要轻易开启和盲目调整。

第四步进行功率计开机检测。对于一些需要供电的功率计在连接电源之前，要确认其电压输入要求和电压选择跳线。对于一些中高档功率计开机时注意其自检信息，是否有错误代码出现。测试功率计我们可以用对应功率等级的信号源产生参考信号，业余条件下我们可以通过对讲机发射信号，然后与确认可靠的功率计对比作为参考，建议在不同量程和频率波段多测试几次。有的中高档功率计在面板上提供参考功率输出，我们可以利用它来校验功率计的准确程度。对于通过式功率计，我们在测试功率时需要准备好匹配负载，为了测试其反向功率的检测性能还需要准备失配负载。

如果打算校准功率计，首先要了解该功率计的调整方法，一般在产品的维修说明书或者校准手册中都会提供。其次需要准备可靠的、经过计量的仪器，最基本的就是可以精确输出的信号源。业余条件下，利用普通的对讲机加上经过计量校正的功率计作为参考比对也是可以的。实际校准操作中，一些结构简单的功率驻波比表调整比较简单，通常是简单调整几个可变电阻就可以了，对于一些精密的功率计调整会比较复杂，好在这些高端产品的技术说明也比较详尽，大多还是图文并茂的。很多比较新的功率计都通过特殊调校菜单进行调整，甚至不用打开机壳，操作更为方便。

二手无线电综合测试仪选购指南

◎聆听

无线电综合测试仪，顾名思义，是一种集成多种无线电测量仪器功能于一身的设备。由于它具备测量无线电设备多种常用参数的特性，所以在业内被俗称为“综合测试仪”。综合测试仪在不同领域有不同的含义，功能也完全不一样，在无线通信行业所指的综合测试仪是无线电综合测试仪或称为无线通信综合测试仪（下文中都简称为“综合测试仪”）。即便是无线电综合测试仪，由于针对的具体应用不同，功能和特性也会有所不同，所以并不是所有综合测试仪功能和应用范围都是一样的。

综合测试仪的优点是一机多能，一台综合测试仪可以替代多台单项功能的仪表，避免了多仪表的杂乱连接线，后期出品的智能化综合测试仪还可以实现自动测量、数据共享、自动运算等功能。综合测试仪虽然集成了很多仪器的功能，但通常在单项仪器性能方面并不足以与单项高精度仪器相比。频率计和功率计功能与Agilent的53131A 10位/秒频率计和E4418B功率计相比，性能差异还是非常明显的。即便是中高档的综合测试仪所具备的频谱分析功能，其分辨率和扫描速度以及测量精度都不足以与HP/Agilent入门级频谱仪媲美，所以在配置无线电检测仪表时，在综合测试仪外，一般都考虑再配备一台专业的频谱仪。如果你是追求计量级精度测试仪器的发烧友，还是建议购买专项仪器为上。综合测试仪的应用目的为实用、够用。

主要功能

在常规无线电通信中使用的综合测试仪往往集成有频率计、功率计、信号发生器、调制度仪、音频电压表、信噪比仪、数字电压表等常规无线电测试仪器的功能，中高档的综合测试仪还会集成有频谱仪、跟踪源、示波器、模拟基站的功能。

此外，还有一些应用于专项无线电检测的综合测试仪集成对特定信号格式（如蓝牙、WiFi、GSM、CDMA、TDMA、TETRA、Iden、P25）检测的功能。尽管有的综合测试仪外观看上去差不多，但不同档次和应用需要的综合测试仪集成的测试功能会有很大的不同。比如有些专项用于测试GSM移动电话和基站的综合测试仪不能用来测试常规对讲机的大部分指标。

图2 HP8924C CDMA测试仪外观与常规测试仪HP8920系列类似

现代新型综合测试仪大都采用大规模DSP器件和软件化控制，很多高级功能可通过购买额外选件实现，而所购买的选件以附加软件或授权代码形式提供。在硬件上可能是完全一样的综合测试仪，但由于授权开通的软件功能不同，实际使用的功能可能会相差很大。其原理类似普通电脑安装新软件和为软件输入注册码一样。我们可以从这些综合测试仪的配置列表中得知仪器授权开通的功能。对于相对老一些的综合测试仪，如HP8920系列，一般通过硬件功能附加板来添加功能，同时标注选件代码以告诉用户仪器所具备的额外功能和配置。

档次分类

随着无线电通信信号测试要求

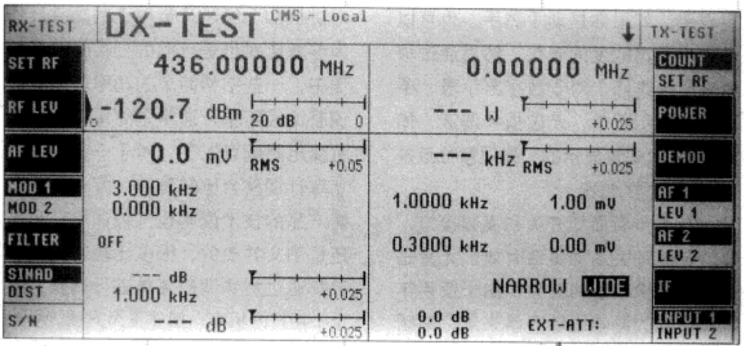


图1 综合测试仪功能界面

图3(a) ANDO AH-5403C 测试仪

图3(b) IFR Aeroflex 500A 测试仪

的不断丰富，综合测试仪的性能和集成功能也不断发展，综合测试仪的构架也在不断升级换代，电脑化、软件化、智能化的测试仪器发展路线在综合测试仪的发展路程中得到了很好的体现。为了方便大家识别，我们以综合测试仪外观结合功能和构架进行分类（以下仅介绍主要用于常规无线电台/对讲机测试的综合测试仪）。

最早期的综合测试仪用现在的眼光来看，就是将一些常用的仪器（如频率计、功率计、调制度仪、信号发生器、信噪比仪、音频电压表等）集中安装在一个铁箱内，实现统一供电和端口公用，解决了多种仪器堆放和布线的问题。这类综合测试仪面板上的每个区域就是一个独立的功能，大部分都还是模拟控制的，要靠指针表头和旋钮刻度来读出测量值和设定仪器参数。由于各部分测量单元相对独立，所以一个功能单元出现了问题不容易影响到其他功能单元，维修也相对简单。这类产品比较原始，在二手市场价格便宜，通常在1500～3000元。一般不建议选用这类产品，因为这一档次产品年代久远，都是超过25年的仪器，故障率比较高，有些仪器长期没有校准，自身偏差也比较大，而且由于当时的技术水平所限，仪器的性能与现在入门级仪器相比，并不占优。

第二代综合测试仪提高了产品整合性，虽然各项功能操作还是很明显地分区进行，指示还是以指针表头和旋钮刻度为主，但整合性已经大大提高。后期产品中，有些数据开始直接数字化显示（如频率计）。目前，该档次的综合测试仪最有价值的部分就是信号发生器部分，因为在二手市场一部频率合成型的入门级信号发生器（频率范围到500MHz或1GHz)价格也不便宜。这一档次的综合测试仪基本功能齐全，实用性也比较高，其测试准确程度要优于目前一些简易型的现场仪器，如廉价频率计、功率表，用于对讲机的维修非常实惠。二手市场价格在3000～5000元，比较适合预算不多的私人用户选用，典型产品有ANDO（安腾）AH-5403C、Schlumberger 4022、IFR Aeroflex 500A。

第三代综合测试仪更多采用数控技术，频率计和信号发生器（包括频率和信号输出幅度）都采用数字化直接显示，有的产品功率计读出也实现了数字化显示，这给测量和设定带来了很大的方便。该类综合测试仪集成控制部分有了较大的提升，操作性和易用性有了明显的提高，是目前私人购置比较实惠的综合测试仪，二手市场价格在5000～8000元，典型产品有ANDO（安腾）AH-5432、Schlumberger SI 4040。

第四代综合测试仪开始出现荧光显示屏，早期产品多使用示波管。在显示屏上通过字符发生器显示各种测量结果，也被称为综合显示器，基本告别了各仪器模块完全单独工作的结构。同时一些单片机技术开始应用，使得整个综合测试仪一体化概念大大增强。由于荧光屏的使用，不少这类综合测试仪开始集成示波器和频谱仪的功能，尽管现在看来用示波管作为显示屏效果并不理想，当时示波器和频谱仪功能也并不强大。这类综合测试仪二手市场价格在7000～12000元，典型的产品是Motorola R-2002A、Motorola R-2001C、IFR 1200S系列。

第五代综合测试仪普遍采用显示效果更好的荧光显示屏，仪器内部的集成化和电脑化数控进一步提高，完全实现数字化控制。从这一代综合测试仪开始已经完全看不出独立模块的影子，完全是一体化操作，并开始使用菜单和软键（多功能定义按键）界面和键盘输入区，成为具备现代化构架的综合测试仪。这类综合测试仪二手市场价格在10000～16000元，实用性颇佳，比较适合一些刚起步的私人通信小公司作为镇宅之宝。典型的产品是MARCONI 2955系列、MOTOROLA

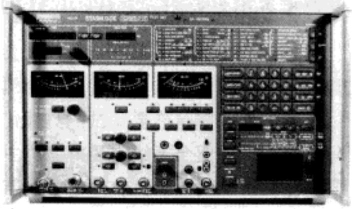


图4 Schlumberger SI 4040 测试仪

图5 Motorola R-2001测试仪

图6 MARCONI 2955测试仪

图7 经典HP8920测试仪

图8 液晶屏的IFR2944测试仪

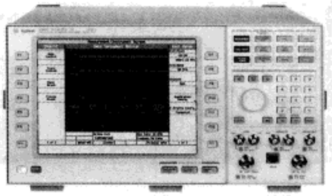


图9 Agilent 8960测试仪

R-2600C。

第六代综合测试仪显示器由荧光显示屏向液晶显示器发展，操作完全菜单化，同时除了集成更多仪器功能外还主要提高了仪器各项测试性能，并根据一些特定通信网络提供专用的测试功能。使用液晶显示器的好处是可以大大降低整机的重量和功耗，释放原来CRT管在机内所占空间，这样更容易制造出一些适用于现场便携使用的综合测试仪（较轻的重量和内置免维护电池）。这一档次的综合测试仪提供了相当不错的性能，也是目前很多单位的主力用机，从技术上说绝对是值得拥有的综合性仪器。这类综合测试仪二手市场价格在15000～30000元，典型的CRT显示产品有HP8920A、MARCONI 2966、ANRITSU MT2605B、IFR 1600S、Schlumberger 4031/4032，典型的LCD显示产品是R&S CMS50/52、IFR 2944/2945。

第七代综合测试仪大量采用彩色液晶大屏幕显示屏，内部结构完全软件化，操作界面WINDOWS化，很多仪器都可以外接键盘鼠标并提供USB端口。通过升级软件和输入授权码就能使仪器具备新的测试功能，适合目前日新月异的高端通信信号测试。新一代综合测试仪的技术亮点已经不在常规无线电测试方面，而是在新兴的各种数字化信号上，如蓝牙、WIFI、CDMA等。仪器的外部通信能力得到进一步加强，方便集成到自动测试系统中。这类综合测试仪比较新，二手市场价格基本都在10万以上，具体价格要看仪器的功能配置。典型的产品是Agilent 8960、R&S CMU200/300、Aeroflex-IFR 3920/2975。

无线电综合测试仪的主要参数

1. 支持测试类型

是指综合测试仪可以测量的通信模式，作为测试仪器必须支持对应的通信模式才能对该信号进行有效准确的测量。常规通用无线电综合测试仪支持AM、FM两大模式，这也是常规无线电设备主要采用的通信模式。在短波通信中SSB单边带模式也被广泛采用，对于常见的综合测试仪SSB测试模式通常以选件形式提供。用于集群系统的综合测试仪需要支持特定集群系统的协议和调制形式，国内常见的集群系统有TETRA、IDEN、MTP-1327等，针对集群系统都有专用的综合测试仪。同样用于移动电话GSM、CDMA和无线宽带数字信号WIFI、蓝牙的专用综合测试仪也是这样。

2. 频率覆盖范围

是指综合测试仪支持测试信号的频率范围，早期的综合测试仪不少频率范围在0.1～520MHz，主流的常规信号综合测试仪在0.1～1000MHz，也有频率范围更宽到2GHz甚至3GHz的产品。对于一些专项综合测试仪的频率范围则往往会局限在特定信号频段。如有些用于数字移动电话系统测试的综合测试仪工作在800/850/900/1800/1900频段内。

3. 功率输入范围

是指综合测试仪支持安全测量的最大功率，不同的产品从20W到200W都有。如果你的综合测试仪功率输入范围不够大而又需要测量大功率信号则需要外加衰减器，否则很容易损坏昂贵的综合测试仪。

4. 仪表功能集成

是指综合测试仪所具备的常规单项仪器的功能。不同档次和时代以及用途的综合测试仪集成的仪器功能是不同的，集成仪器功能的性能强弱也不同，所以说并不是集成的功能越多越好，主要看使用的需要和仪器的性能。现在很多综合测试仪的功能都可软件升级。

对于测试常规无线电对讲机来说，频率计、功率计、调制度仪、信号发生器、信噪比表是最基本的，如果有频谱仪功能则可以看发射信号的频谱，如果再具备跟踪信号源则可以用来调校二端口射频网络（如滤波器、双工器等）。高灵敏度接收机功能可以使综合测试仪作为一台测量接收机，用来监控空中的信号。

二手无线电综合测试仪的选择

选择二手综合测试仪主要从实用性和预算出发。首先要确定综合测试仪的类型，就是你要测试的具体信号。比如你是业余无线电爱好者，主要测量对讲机的一系列参数，那么常规信号综合测试仪就是正确的选择对

象，如果选择GSM专项综合测试仪则多半派不上用场。市场上有很多专项功能测试的综合测试仪价格比较便宜，不少外观看上去也比较先进，但由于应用领域需求量低，所以二手商才低价出售，尽管可能这类仪器的原值很高。如果你想测试TETRA、IDEN、MOTOTRBO、MTP-1327、P25等集群和TDMA信号的对讲机，那么就需要具有对应专项测试功能的综合测试仪如IFR 2968/3920、MOTOROLA R-2660、General Dynamics R8000等。

其次就是综合测试仪档次问题，这直接与预算有关。以普通通用综合测试仪为例，建议预算尚可的朋友可以选择ANDO AH-5432、SI4040档次的综合测试仪，也就是上文中介绍的第三代综合测试仪。这一档次的产品虽然整合性不很高，但基本测试功能比较齐全，最主要的是信号发生器采用了数字显示输出，比更早期靠刻度或者指针表指示信号输出幅度的综合测试仪在测试灵敏度方面准确得多。如果你打算购买一台低价位、具有综合显示器、比较现代一点的综合测试仪，那么二手价格在万元出头的马可尼2955B和MOTOROLA R2600C是不错的选择。如果你打算购买一台高性能的综合测试仪，那么HP 8920A 、R/S CMS50/52、IFR2966都是不错的选择，也是目前很多行业还在主力使用的仪器。如果你打算购买一台重量较轻、适合外出移动使用的综合测试仪，那么IFR 2944、IFR 2945、IFR 2948、General Dynamics R8000这类LCD液晶显示的产品是不错的选择，尤其是专为移动工作设计的产品，如General Dynamics R8000（图10）和Aeroflex 3500A（图11）。

图10 General Dynamics R8000移动测试仪重量轻不少

图11 Aeroflex 3500 手持型测试仪随身携带

在综合测试仪品牌方面，Agilent/HP、R&S(罗德与施瓦茨)、Aeroflex-IFR、Anritsu（安立）、General Dynamics都是这个业界的知名一线品牌，品质值得信赖。

由于通信业的迅猛发展和模拟向数字化通信的进化，很多老款的综合测试仪都被淘汰进入了二手市场，在洋垃圾中也不时有各种通信仪器出现。国内由于业余电台的兴起和对讲机行业的发展，一些小通信公司纷纷成立，对二手常规模式综合测试仪有一定的需求，所以在二手市场上，无线电常规综合测试仪的需求量要远大于一些专项综合测试仪，由此无线电常规综合测试仪的价格坚挺。市场上不同渠道的综合测试仪。由于品质、售前售后服务、仪器配置的不同，销售价格相差巨大，比如一台经典的HP8920A，市场价格从15000元~50000元都有，所以对于打算购买综合测试仪的朋友，找到好的购买渠道很重要。从一些非专业做仪器的二手商处购买没有商家性能保证的仪器，虽然价格便宜，但相应承担的风险也大大增加。综合测试仪的专业校准和原厂维修都是很昂贵的，而且综合测试仪重量重、体积大，在没有原厂包装的情况下，运输风险也很大，不要指望买台有故障的便宜综合测试仪，然后回来自己修修，除非你是这方面的行家。

二手无线电综合测试仪的验收

由于无线电综合测试仪是一台集成多种测试功能的仪器，所以在验收的时候有必要对其主要功能分别进行测试。综合测试仪的维修相当复杂，原厂维修费用也是非常昂贵的，如果综合测试仪出现故障，则其价值将大打折扣。确认综合测试仪的配置，这和综合测试仪的价值有密切的关系，我们可以通过综合测试仪的选件安装代码和系统配置菜单来了解综合测试仪的配置情况是否如二手商所述。我们要注意有些以附加硬件实现的选件功能是否被二手商处理过程中拆除，最好的检测方式就是直接调用此选件功能。

在具体验收测试时，我们可以利用信号源来检测综合测试仪的频率计、功率计、调制度仪、频谱仪、示波器的准确度，利用频谱仪来检测综合测试仪信号发生器功能（信号输出幅度、信号纯度、信号频率准确度）。业余情况下我们也可以用两台综合测试仪相互检测，或者利用我们信任的、已知道基本参数的收发信机进行简单的测试。对于专项测试仪器，我们直接可以用信任的被测试终端来简单测试。

对于具备综合显示屏的综合测试仪大多具有内部自检功能，大部分产品在开机时就有简单的自检过程（图

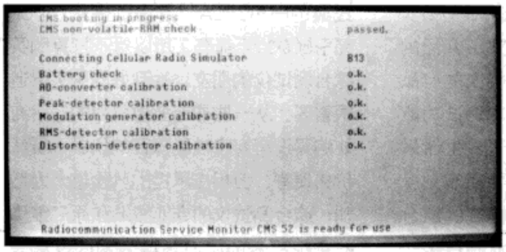


图12 R&S综合测试仪开机自检画面

12），通过机内菜单还可以调用整机自检功能。自检可以比较系统的发现仪器可能存在的问题，通常每个测试项目通过测试后会显示OK或PASS字样。

综合测试仪面板上的按键和旋钮众多，在验收时应该仔细检查这些开关和按钮工作是否正常，尤其是一些导电橡胶的按钮，由于年久老化很容易失效。对采用CRT作为综合显示屏的综合测试仪，我们要注意其屏幕的聚焦情况，要求显示字符在屏幕中央与周边区域都清晰且有较好的亮度，如果遇到字符显示有“模糊”的现象,可以手动调节聚焦和调节亮度，看看是否能修正过来。对于一些老化的显示屏,在亮度和聚焦上都容易出现问题。对于较新款采用液晶显示屏的综合测试仪，主要注意液晶显示屏显示是否正常，有无“抽丝”（由于液晶故障一行无法显示）和背景灯光均匀情况。最后看一下机身螺丝是否有多次拆卸的痕迹，很多大品牌的综合测试仪机身上都贴有原厂封条，即便经过原厂维修校准也再次加贴封条。封条可以保证原机的原厂正统性，以防拼装机。最后,有条件的朋友可以检测一下综合测试仪的数据通信端口，因为有些在集成系统中使用的综合测试仪，通信接口比较容易损坏（但通常对仪器本身测量功能无影响）。

无线电综合测试仪最常见的人为故障是其内置衰减器损害，这通常是由于输入了过大的信号导致衰减器烧毁，或者由于使用年久，衰减器内部的继电器损坏造成的。衰减器故障会使综合测试仪输出电平和对输入功率的测量出现很大的误差。验收时通过测试综合测试仪的端口输出信号准确程度和功率检测准确度就能判断，建议验收的时候在不同频段、不同功率状态下多测试比对几次。

书讯

定价：38元　　邮购价：44元

◆全国各大书店及网上书店有售
◆读者也可汇款至《无线电》编辑部邮购
◇汇款地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》编辑部　　邮编：100061
◇邮购电话：010-67134361

高保真音响丛书
《电子管声频放大器实用手册》出版

电子管发明迄今已逾百年，这个古老的器件虽已从电子技术主舞台淡出，但在音响领域却仍保有重要位置而且长盛不衰。声频放大器有其特有的电路技术，而且音响技术属于实验科学范畴，在设计时需要经验的融入。此外，在设计声频电路时，还有必要把听觉因素考虑进去，并设法使它不受信号源和负载的影响。

一台成功的声频放大器，除了合理的电路设计，还需要适当的元器件相匹配。对元器件的性能充分了解并善加运用，才能使电路性能的发挥达致最佳。

本书由电子管原理、结构、特性谈起，内容包括电子管的正确使用，电子管在声频放大中的各种应用，电子管的替换，以及装配、调试、检修和有关计算。内容深入浅出，切合实用，凡于实用上所必须了解的知识以及易被忽略的问题，都有较详细的叙述，并列出大量适于应用的数据，有很高的参考价值，适合电子管音响爱好者及相关专业人士阅读参考。

作者唐道济先生是国内资深的电声专家，中国声学学会高级会员，中国电子学会会员，现为无锡市音响技术专业委员会主任。1961年起从事电子技术教育工作，20世纪70年代起专事电声及电子产品开发工作，1995年参加国家劳动部有关专业的国家标准及规范制订，先后担任国家标准专家组的主审工作，先后出版过多本电子、电声方面的专著。

《电子管声频放大器实用手册》是唐道济老师为普及电子管应用技术而奉献给广大音响爱好者的又一佳作。该书对有关电子管放大器的理解、设计、制作问题及实用数据作了全面的充实，特别是一些易被忽视的问题都作了阐述，论述虽避免抽象的数学推导和繁琐的理论分析，但仍给予正确概念，对电子管使用中涉及的电路原理、分析、应用、调试、检测都有极高的参考价值。

业余无线电，玩的不仅是“无线电”

——记2009（成都）中国业余无线电“五·五”节

◎张峥（BG8SF）

2009年5月1～3日由中国无线电运动协会主办，四川省业余无线电爱好者协会、人民邮电出版社承办的2009中国业余无线电“五·五”节在成都市青少年活动中心顺利召开。大会吸引了来自包括中国香港和澳门在内的全国0～9区业余无线电爱好者近500人参加。

BY8DX开台

5月1日北京时间14:30，设在会场顶楼房间的四川省业余无线电爱好者协会集体电台BY8DX以SSB方式在14.270MHz频率上开始向全国爱好者呼叫。BA1AA和BA0AA亲自操作主控，为“BY8DX”开台致辞祝贺，全国爱好者纷纷在频率上响应。

BY8DX临时架设在楼顶的正V天线效果很好，回应呼叫的各地友台回复信号报告均为59。呼叫通联到全国1区、4区、5区、7区、8区、9区等地电台。通过电波BY8DX与全国的爱好者在空中互祝“五·五节快乐”、“五一节快乐”。

“五·五”节大会及专题讲座

5月2日大会正式召开，BA1HAM代表中国业余无线电运动协会发言，提到了业余无线电分配23.3GHz的带宽资源充分利用的问题、国内400MHz频段业余业务划分资源的矛盾，介绍了已经成立的中国无线电协会的有关情况，BA1AA介绍了五·五节的历史和由来。

BA1HAM发言

BG8AAS发言

BG8AAS在大会上作了题为《“5·12”大地震中业余无线电应急通信的实战讲座》报告。报告讲述去年5·12大地震中业余无线电应急通信保障中的故事和实际应用中碰到的困难。对业余无线电在灾害发生时所起的作用、应承担的工作以及应急情况下业余电台、业余无线电爱好者的“违规”及“越权”操作提出了建设性的总结和建议。这也是中国业余无线电首次在重大自然灾害情况下，最大规模地有组织地发挥应急通信保障功能的一次全面总结，对国内业余无线电应急通信的发展有着非常重要的指导作用。

BA1DU是HAM当中有中科院背景的少数专业科学家之一，他专题作了《卫星通信技术应用》的讲座。讲座深入浅出介绍了卫星通信的基本知识、发展历史、业余卫星通信特点、操作必备条件、有关设备等。让大家最感兴趣的是公布了中国业余卫星发展计划和该计划当前的进展。首颗中国业余通信卫星XW-1希望号预计将在2009年底或2010年发射升空。报告中对卫星的技术参数以及爱好者如何利用它进行通信的基本条件都作了详细讲解。

BA0AA开台

BA1AA开台操作

应急通信演练

大会室内的议程刚刚结束，爱好者们就迫不及待地转向室外，观摩应急通信演练。

BA1WJ打开了自己的背负电台装备，在现场展开天线，利用自制的电键开始CW，演示便携短波电台应急通信时在野外进行通信联络的全过程。同样是来自北京的爱好者BD1KIY向大家讲解自己改装自制的背负电台系统和为适应背负情况使用而特别设计的天线。特殊设计的天线根据实际情况可以在移动过程中缩短使用，也可以在固定使用时加长地网，以提高通信效率。

与个人单兵应急通信展示设备和技术相比，四川协会组织的应急通信演

BA1WJ讲解背负电台

BD1KIY安装背负电台天线

应急通信演习

练更偏重于实战演练，参加人数众多、组织严密、流程有序、模拟场景逼真，的确像是真正在抢险救灾。参与演练的20多名着装整齐的应急通信自愿队队员列队后按分工职责分散各处。演练以岷江上游突发洪水，沿岸电力和通信设施损毁，多处水文站失去联系需要通信保障为背景，由主控台发布通告号召各电台启动应急预案。根据预案，组成了凤凰山短波电台组和郫县三道堰U/V电台中继组。在主控台的指挥调度下完成了对蓝坝电站、温江金马大桥、邓双水文站等地的通信保障支援。演练涉及了通信点名报道、短波快速设台、U/V中继快速设台、引路指挥、志愿者调度与专业应急通信保障交接等实战应用场景。通信过程通过扬声器向参会的HAM和现场围观群众进行了广播，让大家切身体会、了解应急通信的全过程。

设备展览

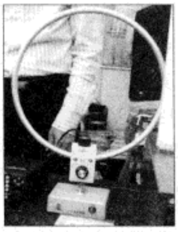
大会现场聚集了来自成都本地和外地的几家专业器材销售商。有著名的YAESU、AOR、KENWOOD等国际品牌。也有特稳固、KYD等品牌。有漂亮的室内用LA380高Q环形天线、接收频率75MHz～3GHz的超宽频小尺寸天线DA735G，还有非常方便做APRS应用的特稳固GPS/APRS多功能手持话筒。

特稳固（Wintec）WGT－168多功能手持话筒

更吸引爱好者还有1区HAM的自制电台背负架、柯顿X-2专业SSB电台改装的背负电台，以及全手工自制的CW电键。

天线

在业余无线电聚会中少不了的是各式各样的天线。竖立在会场楼顶的BY8DX集体台用的四波段正V天线高高耸立差不多有两层楼高，远看就像是巨大的弹弓叉在风中招摇，1区爱好者车顶上带的半环车载方框短波天线，如果是原产，那可价格不菲，7区爱好者车顶上吸盘吸一副低端加感GP短波天线。振子很长，为了避免行车时脱落，临时找了几条彩色尼龙绳四角斜拉，远看像是头发很少的“一毛”扎了个蝴蝶结。BA1WJ和BD1KIY自制的便携短波天线，全部接上有5人多高，全手工制作，拼接简单，非常适合在移动中使用短波。BD1KIY特别设计了类似拉杆天线的地网，根据使用情况不同，可以随时调整地网的连接方式，并方便调整谐振点。



LA380室内高Q环形天线。接收频率宽度为10kHz～500MHz，有很强的方向性。

接收频率75MHz～3GHz的超宽频接收天线DA735G。通过不同长短地网的调整适应多波段超频宽的接收匹配。

柯顿X－2改装的背负短波背架。特制的加感地网，可以方便改变调整安装位置，改变长度达到最佳匹配效果。

全手工自制的CW电键

半环车载方框短波天线。经过特殊设计的半环天线，辐射能量集中在高仰角区域，保证短波信号能覆盖20～150km内短波通信的盲区。该天线原装产品报价相当于一辆国产小汽车的价格。

自制背负电台的天线地网。背负电台在固定使用时装上天线地网（图中左上金属杆），调节金属杆长短和角度达到与天线的最佳匹配状态。

这次五五节大会将爱好者们的业余活动在日常社会生活中的重要地位进行了充分展示，是一个让普通大众认识了解和参与业余无线电的重要宣传大会。

火腿操作入门

◎方明（BA6AA）

用手台实现远程通联

上期笔者介绍了影响手台通联效果的一些因素并提出一些关于提升手台使用效果的建议。掌握了手台的基本通联后，相信很多爱好者期望用手台通联更远。本期笔者就着重介绍如何使用手台进行中继通联和远程通联。

古人云：但愿人长久，千里共婵娟。两人离开一定距离之后，因为地球的曲率和山脉或建筑物等物体遮挡，互相就看不到了，但两人抬头都能看到同一个月亮。同理，两个手台离开一定距离后，无线电波会因遮挡等原因被衰减，直到不能通联，但如果在高处设置一个两个手台都能“看到”的电台，为双方转发信息，这样两个电台就仍然可以互相通信了。这种电台就称为“中继”。

中继通联的特点

1．覆盖范围广。假设中继台架设高度为60m，手持台高度为1.6m，根据直射波传播距离的近似计算公式，该中继台能够覆盖的有效通联半径为37km，有效通联面积为4300km²！

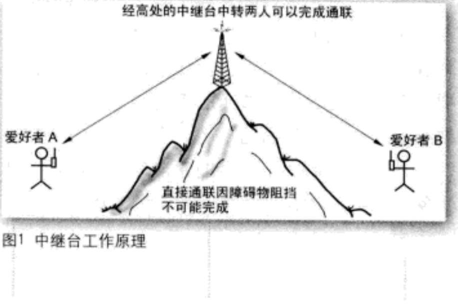


图1 中继台工作原理

也就是说，你的每一句话，都将被这4300km²内的每一个火腿完全抄收。

2．多人共享。通过中继台的信号中转，有效通联范围内的所有火腿均可以抄收其他火腿发出的呼叫，所以，为了大家的方便，请不要占用中继频率聊天或长时间交流私人信息，使用中继通联应该尽量简洁明了，有事说事，没事让出频率，保持静默，以便中继台能够发挥最大效用，为最急需的火腿服务；

3．语音模式为主。常规业余中继台在没有明确规定时都以使用语音模式为主，不能用于其他模式通信，以免影响其他合法使用者。但近年来，随着无线电通信技术的不断发展，数字模式业余中继台也开始在市场上出现并投入使用。因工作模式不同，两者并不冲突，爱好者们可以根据自己的爱好和财力选择使用。

进阶知识

数字模式业余中继台

顾名思义，数字中继台就是将语音进行数字化处理后进行转发的中继台。此时调制在载频上的不再是模拟语音信号，而是数字信号。两者的差别，如同胶木唱片和CD唱片一样。数字中继台必须配合相同数字化编解码格式的数字对讲机进行使用，其优点是：频率利用率高（12.5kHz分时容纳两个话音信道，比模拟对讲机高一倍）；在临界距离内接收话音的音质很好；数字化信号便于进行无差错中继，也便于和其他数据合用一套数字中继系统，利用宽带链接实现更大的覆盖，而且省电；可以传送文字短信甚至图片；数字系统具备特有的对环境噪声的抑制能力，即使在非常嘈杂的环境下也能收听清晰的话音。另外，因为各数字终端具有唯一ID，非常方便进行分组、遥毙、定位、监控等管理功能，而且不易被窃听。业界普遍认为，将来数字对讲机在成本下降后会在很多领域替代传统的模拟对讲机，如同数字手机替代“900”模拟大哥大一样。

目前ICOM、Motorola和深圳天立等都有数字对讲机产品。国家无线电管理和检测部门也正研究制定数字对讲机的射频和空中接口标准，以便检测部门可以有型号核准和技术检测的标准。各厂商也没有统一行业标准，各家产品还没有在语音编/解码级到互相兼容的地步。日本业余无线电联盟率先于6、7年前开始试验D-Star数字中继系统计划，提出了一套D-Star标准，美国和德国的业余无线电目前也在根据这个标准试验。

4．频率固定，易受到干扰。为了方便爱好者设置和使用，中继台的频率一经设定一般不轻易更动，所以比较容易受到干扰。经统计，干扰一般分为3种：一是杂波干扰，如其他发射台的交叉调制干扰、天电干扰、电磁辐射干扰等；二是突发干扰，如因电离层电波反

射条件发生改变产生“超导现象”，导致异常传播，造成远方的无线电波信号打开本地的中继台形成干扰；三是人为干扰，如非法使用和恶意使用等。对于前两者，可以使用设置中继台亚音、定时开关机等技术手段予以消除，而人为干扰则只能采用劝阻、加强监管和执法的手段了。

进阶知识

交调干扰和连续亚音控制静噪系统

交调干扰：当两个以上不同频率信号作用于一非线性电路时，将互相调制，产生新频率信号输出，如果该频率正好落在接收机工作信道带宽内，则构成对该接收机的干扰，我们称这种干扰为交调干扰。例如，中继台的接收频率是434.500MHz，如果中继台附近还有两个发射机，$f1$为220.000MHz，$f2$为214.500MHz，这两个信号同时作用在中继台的接收电路上，则会产生$f1+f2$=434.500MHz的二阶交调干扰，如果交调干扰信号的强度超过了中继台接收门限，则将打开中继台形成干扰。

CTCSS (Continuous Tone Controlled Squelch System)连续亚音控制静噪系统，俗称亚音频，是一种将低于音频的频率（67～250.3Hz）附加在音频信号中一起传输的技术。因其频率范围在标准音频以下，故称为亚音频。当中继台对接收信号进行中频解调后，亚音频信号经过滤波、整形，输入到CPU中，与本机设定的CTCSS频率进行比较，从而决定是否开启发射机进行转发。这样一来，就等于为中继台加上了一个“密码锁”，带有正确亚音频标识码的爱好者的电波可以打开中继台，不附带亚音码的干扰信号无法打开中继台，从而使中继台具备了抗干扰功能。

如何使用手台进行远程通联

对于爱好者来说，手台并不是进行远程通联的理想工具，相对于昂贵的大功率全模式业余电台来说，手台缺少了进行远程通联非常重要的两个条件：大功率和全模式。50W的输出功率显然比5W可以传输得更远，而SSB、CW模式的工作效率远高于FM模式。但是，这并不意味着手台不能进行远程通联。因为投资少、体积小、重量轻、便于携带等特点，使用手台进行远程通联有其独特的特点和乐趣。

对于手台而言，影响远程通联的主要因素主要有3点：良好的天线，高度，传播。关于传播对UHF/VHF波段远程通联的影响，笔者推荐新朋友购买阅读人民邮电出版社出版的《业余无线电入门》一书。

使用手台进行远程通联的情景大致有以下3种：

1. 主动出击式。在闲暇时间或传播开通的时候，携带手台登高，呼叫远方的火腿，或尝试打开其他城市的中继台进行通联。这时，我们建议使用高增益的八木天线来提高通联效果。在很多网站上都有成品或HAM制作的UHF/VHF波段八木天线出售，有些还是可折叠便携的，非常方便。当然如果您有兴趣的话，也可以DIY一个。

有朋友可能会问：一个小小的对讲机，就算上了山，又能通联多远呢？让我们来看看实际情况吧。在每年国庆节举办的安徽-江苏UV通信日活动中，爱好者们使用手台+八木天线，在郊区的山顶或市区高大建筑物上，可以轻松完成100～300km距离的通联，最远的记录曾经达到近500km！

2. 守株待兔式。在自家房屋的顶上架设高增益天线，连接到手台上，在传播开通的时候守听常用频率，听到信号后进行呼叫，以完成通联。这个办法虽然笨了点，但不需要很辛苦地爬山，而且时间长了也能颇有收获。在炎热夏季的清晨和傍晚，尤其是阵雨过后，传播会好得难以想象。我们来看一下爱好者的报告吧：济南

图2 苏皖UV通信日，合肥市的爱好者BD6AR在肥东县白马山山顶进行呼叫

的火腿经常在传播开通的时候可以和北京的HAM使用UV段手台进行直接通联，上海的爱好者甚至可以通过济南或泰安的业余中继呼叫到北京的火腿；无锡的HAM在家中，使用”对讲机+高增益玻璃钢天线”可以打开半径200km以内的数十个城市的业余中继台，覆盖安徽、山东、浙江、江苏、上海等多个省市。

守株待兔的一个缺点是：你必须住在高层建筑的顶楼。如果你住在28层住宅楼的4楼，那么即使顶楼的邻居同意让你架设天线，你也很难使用一根数十米长的馈线把天线和你房间里的对讲机连接起来，而且就算这样做了，通联效果也会大打折扣，因为UV波段电波在馈线里的衰减远高于HF波段，不利于远程通信。目前火腿解决这个问题的办法主要有两种，一是使用像YAESU FT7800R这样的面板可分离电台，把电台主机固定到天线下方，使用面板分离延长线把面板延长到远方自己家里进行操作。有爱好者宣称使用60m长的延长线后仍能正常工作。还有一种办法是使用具备UV交叉中转功能的手台（如KENWOOD TH78A）固定在高处的天线下端，它可以把接收到的信号实时差转到另外一个波段的指定频率上，这样你在自己的房间里使用一部普通的手台就可以进行“差转远程通信”了。显然这些方法都比较麻烦，笔者的建议是，在有机会换房的时候尽量考虑高层的房子，会带来更多的方便和乐趣。

3.业余卫星。对新朋友而言，不妨把业余卫星看成一个高度很高、覆盖范围很大的中继台，只要我们的信号能够打开这个中继台，就可以跟远方的HAM通联上，只要对方也在该卫星的覆盖范围内。因为业余卫星工作模式的限制，你需要有一部双段手台，如上期介绍的YAESU FT-60R。以AO-51业余卫星为例，卫星下行频率为UHF波段的435.300MHz，上行频率为VHF波段的145.920MHz，亚音67.0Hz。如果天气晴好，你甚至不需要使用高增益天线，只需要到能看见天空的地方，用手台和橡胶天线就可以打开业余卫星的中继转发器，跟上千千米外的HAM完成通联——这听起来是多么简单和激动人心的事情啊！但别急，你还需要注意下面一些情况：首先，绝大多数业余卫星都是非同步轨道的，这意味着你必须下载一个卫星轨迹报告软件，在卫星刚好来到你头顶的时候跑出去进行通联；其次，卫星跑得比你快多了，每次经过天空留给你操作的“窗口时间”只有短短的几分钟，错过了就只有等几个小时后的下一次；此外，卫星相对地球在运动，电波存在多普勒效应，对操作技巧有一定要求。可是，相对于卫星通信所带来的巨大诱惑，付出努力显然是值得的。

进阶知识

中国第一颗业余卫星即将升空

这里还有一个鼓舞人心的好消息要透露给大家：由中国航天科技集团公司出资研制的“希望1号”小卫星已经制作测试完毕，预计将于今年7–8月发射升空。它的主要任务是建立业余无线电频率的空间通信、搭载青少年科学实验方案及进行太空摄影。卫星总重约35kg，采用整星框架+承力板结构设计，非等边的八边行立柱构形，能源采用体装太阳能电池阵+锂离子蓄电池联合供电方式。整星分为3个主要部分，分别是能源仓、电子仓和载荷仓，轨道高度499km，为太阳同步轨道，设计寿命1～2年。为满足广大爱好者使用中国第一颗业余卫星的强烈要求，CRSA已经着手修订有关管理规定，拟允许所有具有发射资格的爱好者使用这颗卫星的转发器进行通联。让我们共同期待，中国业余卫星的成功升空和运行！也希望您能够“恶补”一下业余卫星通信的有关知识，期待在不久的将来能够在希望1号上听到您的声音！

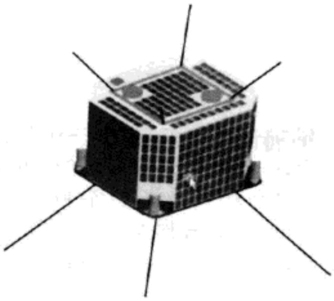


图3 希望1号业余卫星

【上期作业解答】计算直射波传播距离的近似公式说的是视距和高度的关系。直线传播通常受地球曲率影响的因素是最主要的，功率和灵敏度相对比较次要，前面的系数是和地球半径有关的，原来是3.57，考虑到实际扩散的距离才修正为4.12。没有考虑发射功率和接收灵敏度这两个重要指标是因为视距是影响VU传播的主要因素，这时候功率灵敏度不是制约传播的技术条件。

作业1 购买或自制一根便携的UV段八木天线，在空闲时登高测试一下通联效果，注意和手台原装橡胶天线对比一下信号强度的差异。

作业2 学习并掌握业余卫星通信的有关知识。

如何订阅《无线电》杂志

亲爱的读者：

您可以采用以下方式购买《无线电》杂志：

1．到各地邮局订阅。

2．拨打11185上门收订。

3．24小时网上订阅：*http://bk.chinapost.com.cn*（中国报刊邮政订阅网）或通过《无线电》网站*www.radio.com.cn*上的链接订阅（支持在线付款）。

网上订阅客服电话：400–6611185（免费）。

4．到本杂志社邮购：

《无线电》杂志每期邮购价10元，挂号另加3元，全年邮购价120元，免邮费。

邮购地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》杂志社（100061）

咨询电话：010–67134361。

编前语： 了解我国关于业余无线电频率使用的相关法律法规→递交设台申请→加入无线电运动协会→购买设备→验机，这些必备的火腿入门步骤之后，新火腿面对自己的第一部电台，如何开始实现自己的爱好，面对这个爱好所涉及的各种操作实践问题，如何解决？如何提高？如何进阶？从2009年第一期杂志开始，本刊推出“火腿操作入门”系列文章，希望通过这个系列给新火腿或即将成为火腿的爱好者们带去一些实用的操作指导，让你在阅读中提高，在实践中进阶。

火腿操作入门

◎方明（BA6AA）

手台使用进阶必备

笔者做了一个简单的统计，现在刚入门的新火腿，有很多是从手台开始通联的。那么我们这个系列就先从手台开始吧。至于对手台的功能和基本使用方法的了解，新火腿可以参照手台产品说明书，本文不再赘述。

很多新火腿告诉我：他们买的手台“很让人失望”，因为据说或标称通联距离可达到5～10km，但实际上，“最多也就一两千米”,而且，信号经常时断时续，模糊不清，“完全不像想象的那样”。

这个问题虽然看起来很简单，但涉及很多方面。

首先，无线设备的有效通信距离跟环境有很大关系。比如在电梯里手机就不通，除非加以改造，在电梯井里加装中继设备。手台说明书上标称的通联距离都是理想状态下的，比如双方都在平原等开阔地带、中间无落差和任何遮挡等情况，如同汽车广告所说的“百公里油耗4.2L”是指60km匀速状态下一样。严重堵车时，汽车的百公里油耗会上升到10多升；严重遮挡时，手台的有效通信距离也会迅速下降到一两千米甚至更短。解决的办法是尽量移动到开阔地带进行通联，避开建筑物等不利环境的影响。

其次，无线设备的有效通信距离跟高度有很大关系。大家有条件的话不妨做个实验，在天气晴朗的时候外出爬山，测试一下通联效果。一对标称“开阔地带有效通信距离为5km”的手台，在没有遮挡的情况下，在两座相对地面100m高度的小山包上可以轻松完成20～50km距离的通联！笔者居住的安徽省合肥市郊区的大蜀山，海拔284m，在山顶使用5W功率的手台，可以轻松打开直线距离100km之外淮南市海拔高度为65m的中继台。

进阶知识

根据高度如何简单计算通联距离？

超短波传播的主要特点是依靠直射波传播，地形、地物对接收场强影响较明显。在标准大气条件下，计算直射波传播距离的近似计算公式是$r=4.12(\sqrt{h1}+\sqrt{h2})$ km（其中：$h1$、$h2$分别为收发天线的高度）。也就是说，如果收发天线都有100m高，那么两部电台的理论有效通联距离可达80km之遥！

再次，手台的有效通联距离跟该设备的品质有关。现在市场上的手台良莠不齐，价格从百十元到数千元，不同品牌和档次的机器，其内在品质相差很大。品质主要体现在技术指标上，影响通联距离和通联效果的技术指标主要有发射功率、接收灵敏度、选择性、天线的增益、语音还原度等。前两项指标在使用说明书里一般都有标明，选择性、天线的增益、语音还原度等指标就不一定了，可能需要查看技术资料才能确定。简单说来，选择性不好的手台容易受到杂散电磁波的影响和干扰，在电磁环境不好的地方往往难以分辨有效信号。天线的增益也是影响收发效率的重要指

标，一根质量优良、增益较高的天线可以明显提升通联距离和质量，但价格不菲；使用语音压扩技术可以提升信号的清晰度，语音还原度高，当然手台的成本和价格也会相应高一些。特别提醒大家的是，现在有的国产杂牌手台为了降低成本，竟然简化电路、节约零件，甚至使用次品零件，造成语音还原度很差，还原出来的声音含混不清、难以分辨，购买的时候一定要注意，最好带上正品的手台作对比测试。

这里还有一点很重要，对于FM模式的手台来说，SQL静噪深度的设定会影响到接收灵敏度，有关的原理限于篇幅，此处不再讲述。如果需要通联低于静噪门限的信号，可选择取消静噪深度的设定或将SQL电位器逆时针旋到底，此时需要在强烈的背景噪声下完成通联，对操作员的要求较高，详见下文。

最后，手台的有效通联距离跟使用者的经验和水平有很大关系。主要体现在两个方面：一是和环境的互动能力，二是通联的能力和技巧。

前者的意思是指，有经验的HAM，在使用手台进行通联的时候，能够在很短的时间内快速发现和找到身边的最佳通联位置，从而高质量地完成通联；而后者包括：语言的组织能力——用简短精炼的话语来完整准确传达有效信息的能力；“金耳朵”能力——具有良好灵敏度和选择性的听力；快速应变能力——根据对方的通联能力和技术水平，迅速调整自己和对方交流的语气语速、语言的逻辑组织和专业深度，以求让对方易于接收，从而取得高效沟通的能力。这些能力与设备无关，是需要积累和锻炼的。举个例子，每逢国际性业余电台短波通联比赛的时候，频率上往往拥挤不堪，“好像有千万只青蛙在同时鸣叫”。但有经验的操作员的“金耳朵”可以在成百上千个呼号中准确地选择出他所需要的呼号字头（比如，稀有电台、分值系数高的电台或没有通联过的电台）进行回叫和通联。听起来似乎很“高高在上”，事实上，每个“老手”都是从“新手”过来的，新朋友通过不断地学习和积累就会成为老手，像武侠小说里的高手一样，用一把木剑也可以“百万军中取上将首级”。

进阶知识

如何找到身边的最佳通联位置？

对于使用手台进行超短波QSO而言，记住两点：其一，开阔的地方通联效果最好。比如在一个房间里跟外面的HAM进行通联，把身体和手台探出窗外（要注意安全哦！）比在房间里面效果要好，移动到房间中央位置比呆在角落里效果要好；其二，建筑物和汽车不仅会吸收电波的能量造成信号衰减，也会反射电波，在复杂环境下电波经过多次反射和叠加到达接收机的时候会产生多径衰落，如果电台在移动中，还会产生多普勒频移衰落（见图1）。

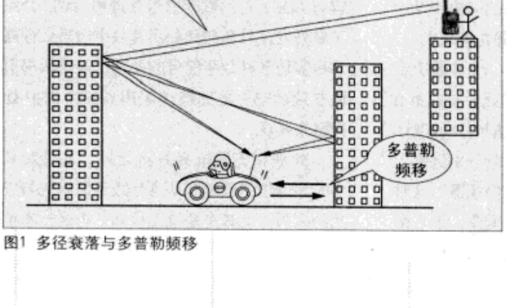


图1 多径衰落与多普勒频移

但总有一些位置的电波信号是增强的，而且信号强度往往比直射的信号还要好。要尝试着寻找反射电波的最强点，方法是在接收对方信号的时候移动手台，看信号表的强度指示，然后记住信号最强点的位置和周围环境的关系。经过一段时间的积累后，你就会成为电波的“风水大师”，扫一眼环境就可以直奔最佳通联位置！

进阶知识

我想尽快拥有一双“金耳朵”，该怎么做？

通俗一点说，“金耳朵”其实就是“无线电通信劳动技能大赛获奖选手”，而技能这种东西是没法偷懒的，需要勤学苦练。当然，也需要有科学的方法。笔者的建议是同时收听多台收音机，注意不能用耳机，而且音量不要太大。从两台开始，慢慢增加，根据经验，经过3～6个月的时间，可以增加到4～6台，“金耳朵”入门级就达到了。有朋友提出可以使用电脑，开多个进程收听多个网络电台节目。这个办法我没有试过，不过应该可行，只是同样要注意不要用耳机。

对照上面的分析，新火腿朋友们可以结合自己的具体情况总结一下，看看影响自己通联的问题出在哪里？下面，结合笔者本人的体会，提出一些关于提升手台使用效果的建议，供您参考：

1. 尽量移动到相对空旷的位置进行通联。

2. 通联时，手台不要离身体太近，让手台的天线垂直于地面。如果有可能，尽量提升手台的有效高度。如爬到楼顶，或把手台固定在车顶，在车内使用手麦。

3. 更换一根更好的天线。如日本钻石的RH771橡胶天线（见图2）。如果不需要移动通信，可考虑使用外接高增益固定天线。

4. 通联时保持正常语速，吐字清晰，组织语言简洁明了；记住：先按下PPT发射键，等红灯亮了之后再说话，以避免“丢字”现象。

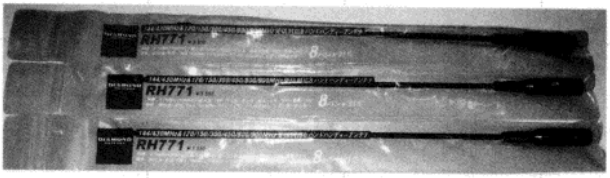


图2 日本钻石RH771橡胶天线

5. 不要“抢发”，在对方停止发射后等待1～2s再发射，给对方一个缓冲的时间，可以有效提高通联效率。

图3 YAESU VX—6R

6. 丢掉经测试语音还原度不合格的手台，更换一台质量有保证的产品。建议购买一台带有信号强度表（S表）的产品，如YAESU VX-6R（见图3）。

7.“磨刀不误砍柴工”，花点时间学习和熟练掌握字母解释法、常用Q简语、业余电台通联规范等基础知识，可以避免在通联的时候因抄不下来对方呼号而不得不一再要求对方重复呼号等尴尬。

作业1 本文中笔者提到了计算直射波传播距离的近似计算公式。您一定会奇怪，这个计算通联距离的公式里，怎么没有考虑发射功率和接收灵敏度这两个重要指标呢？难道通联距离跟发射功率无关吗？这个问题留给读者，请借助互联网或图书馆等工具进行解答，下期再发布参考答案。

作业2 查找并了解以下内容：①S表指示刻度与信号强度的关系，②多径衰落、多普勒频移衰落的产生和定义，③U/VHF波段的电波传播特性。

书号：21012　定价：120元

◆全国各大书店及网上书店有售

◆读者也可汇款至《无线电》编辑部邮购（免邮费）

◇汇款地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座《无线电》编辑部　邮编：100061

◇邮购电话：010-67134361

业余无线电丛书

《射频电路设计实战宝典》出版

《射频电路设计实战宝典》这本书是写给那些有强烈好奇心的业余无线电爱好者们的，它给业余无线电爱好者带来了专业的射频设计经验和丰富的案例，本书作者的目的是使读者在设计自己的设备时能节约更多的时间。

本书的第1章是作者们给初学者的一些规则和实验者的一些建议。第2章讲述放大器设计基础，内容包括放大器的基本概念、分类、特性、设计中需要考虑的问题和设计实例。滤波器是通信系统中主要功能块之一，它对于无线电实验者特别重要，滤波器决定系统的性能和设备的成本，因此作者在第3章重点讨论了滤波器和阻抗匹配电路的设计和实现。本书的第4章、第5章分别讨论了振荡器与频率合成、混频器和倍频器，这对于收发信机的设计和实现非常重要。第6章重点讲述发射机与接收器的设计和实现，书中的实际案例具有较高的参考价值。

测量和验证电路对于无线电爱好者而言是一项基本的工作，本书的第7章重点讲述了怎样利用一些基础测量设备进行测量，并给出了一些自己动手制作的测量设备电路。第8章和第9章讨论了采用直接变换和移相方法实现收发信机。第10章和第11章从较新颖的数字信号处理（DSP）技术角度讨论了模块和通信系统的实现，这部分内容以ADI公司的数字信号处理器为例，介绍了其开发工具和如何利用其数字信号处理器编程实现各种数字信号的处理，并将本书前面实现的部分电路模块采用ADI的DSP处理器来实现。

除业余无线电爱好者之外，本书对其他无线通信工程师和从事无线通信研究与应用的人员，尤其是系统工程师，也是一本难得的参考书。

火腿操作入门

◎方明（BA6AA）

车台使用进阶必备

朋友们，本期我们来聊一下车载电台。

曾有小资MM曰：我不在星巴克，就在去星巴克的路上。小资暂且不论，至少她说对了一件事：人有运动和静止两种状态。从火腿的眼光看，运动分为双手自由（走路或乘坐交通工具）和双手不自由（驾驶交通工具）两种；静止也分两种：面前有电台（可以操作）和没有电台（无法操作）。对应于除了没有电台之外的三种情况，我们把业余电台分为三种：手持台，车载台和基地台。手持台适合双手自由时手持操作使用，车载台适合于驾驶交通工具时使用，基地台适合面对工作台坐下来，认真安静地操作。

就车载台类别的细分而言，如同人可以按性别、年龄、籍贯、教育程度等标准进行分类一样，也可以按照生产厂家、工作模式、输出功率、应用领域等标准进行。对火腿来说，最主要的分类标准有两个：工作波段和工作模式。

我国火腿常用的频率集中在1.8MHz～1GHz范围内，共有业余频段12个，大家习惯用“米波段”来称呼和区别他们，分别是160m、80m、40m、30m、20m、17m、15m、12m、10m、6m、2m、0.7m波段，每个波段的频率范围和允许使用的工作模式各不相同。覆盖所有这12个波段的业余电台被称为全波段业余电台（常被简称为全段电台），覆盖某一个或几个波段的电台被称为单（双、三、四……）波段业余电台。常用的工作模式有CW、AM、SSB、RTTY、FM五种，全部具备的被称为全模式业余电台，同理，具备某一个或几个工作模式的电台被称为单（双、三……）模式业余电台。请问，什么样的业余电台最高级呢？当然是全波段全模式业余电台啦。不过，这样的机器价格不菲，目前市场上最便宜的全波段全模式标准输出功率（短波100W，VHF50W，UHF35W）业余电台大概就是YAESU FT-857了，价格也在5000余元。显然，对于大多数火腿而言，这并不是一个小数目。从进阶的角度而言，新朋友在熟练使用手台之后，可以考虑购买和操作FM模式的单（双）波段车台。

车台系统可细分为电源、电台和天馈3个子系统。我们以常见的YAESU FT-7800R车台为例进行说明。

FT-7800R是一款U/VHF双段FM模式车台，输出功率可达50W（VHF）和35W（UHF）。此机可以说是车台常青树，自问世以来一直热销，以至于市场上竟然出现了“山寨版”。虽然现在各种新机型层出不穷，可FT-7800R就如同私家车里的捷达一样，一直长盛不衰。道理很简单：质量稳定，操作简单，价格便宜，可以满足80%使用者的80%的需求，适用的就是最好的。对于大多数爱好者来说，一台FT7800R加一个国产的LT6100plus手台（共计约2000元）是当下经典的低价搭配，今后如果继续发烧，只需要再购进一台YAESU FT-857就可以纵横天下了。

有关FT7800R的基本操作和日常使用，在互联网上有大量的资讯报告，限于篇幅本文不做详细介绍。笔者给出的进阶建议如下：

1. 分组设置存储频道。了解、整理好自己需要使用的频率和中继台信息，按照使用习惯顺序存储，并进行分组。常用的本地通联频率作为第一组；周末可能登高或开车外出，进行远程通联的频率（如半径300km以内的其他城市爱好者使用的直频和中继频率）作为第二组，一年内可能出行的城市（含经过和到达）的直频和中继频率作为第三组；业余卫星专用操作频率作为第四组。FT-7800R具有频道名称设定功能，可以使用6位英文字母、数字和符号给频道命名，建议根据个人习惯进行设置，对快速查找和记忆会有很大帮助。

2. 车载安装时，手咪一定要固定，不可随处乱放。笔者曾经历过车队出行，某新手的车台手咪发射键卡

图1 YAESU FT7800R

图2 用3M双面胶粘贴话筒挂钩支架

图3 MH48多功能手咪

图4 钻石MR77双段一体化天线

在座位和手刹之间，导致连续发射十几分钟的情况。因功率大，两口子吵架给几十人听得清清楚楚，那结果是相当惨烈啊。究其原因，大多是因为不舍得在新车的中控台上打洞，用螺丝固定手咪的安装支架。建议可以使用3M双面胶把支架粘贴在中控台上。笔者在国外的时候，见到有爱好者在驾驶台左前方安装了鹅颈话筒，使用的时候弯到嘴边，用完可收回到A柱旁，PPT按键则安装到方向盘上，这样在操作的时候双手不离开方向盘，也不用改变视线，大大提高了安全性，值得学习。

3. 多使用中小功率挡，不要长时间大功率发射。FT-7800R满功率发射的时候，电流高达11A，对电源系统、散热工况、天馈系统都是严峻的考验，近场场强高，电磁辐射大，对操作者和乘客都不是什么好事。事实上，用久了就会发现，绝大多数情况下，大功率和中功率发射，通联效果没有显著差别。这是因为对FM模式而言，其接收信号的强度跟发射功率并不是像CW和SSB模式那样呈线性关系，只要能达到鉴频器所需的信号强度，其还原的音质就不会有太大区别。再说了，火腿提倡QRP（小功率操作），节能也是美德嘛！

4. 车载安装时，建议直接从汽车电瓶引线。虽然大多数汽车的点烟器插座标称可允许15A电流，但因点烟器插头插入时接触电阻较大，使用点烟器给车载电台供电根本不可取。笔者测试过的所有汽车，点烟器供电时均造成插头过热，甚至高温变形烧毁。因为不同种类的金属长期接触会产生电化学反应，建议车辆保养的时候定期检查和维护引线接头，避免因腐蚀和氧化导致的接触不良等安全隐患。

5. 用好多功能手咪。FT-7800R标配的是MH48多功能手咪，这个手咪有很多强大的功能，如直接频率输入、功率切换、亚音设置、频道扫描、静噪开关、功能编程等，但很多爱好者只是拿来说话，需要进行设置和改变参数的时候仍然在面板上操作，真是巨大的浪费。为了您的投资不被白白浪费，当然更为了您能更加方便快捷地使用车台，一定要学习用好这个好东西！

6. 建议新朋友购买使用一体化天馈线系统，如钻石MR77。很多新朋友认为：设备很重要，应该重金购买，天线和馈线只是配件，买最便宜的，能用就行了。这是一种非常错误的观念。天馈线是负责电波发射接收的关键器件，如同音响系统的音箱，其质量直接决定了信号的好坏。目前市场上各种杂牌和仿冒的天馈线质量差别很大，有些根本就是假冒伪劣产品，使用这种产品不仅会大大影响信号质量和使用效果，还会对设备造成损伤，甚至可能发热变形，留下安全隐患。笔者曾做过测试，某杂牌5m长度的车载馈线，对430MHz频段电波的衰减竟然有3dB，也就是说，30W的输出功率，到了馈线的末端只剩下15W了。常规的天馈线系统由天线、固定件（吸盘或卡边）、馈线和连接件（接头和转接头）4个部分组成，本刊往期杂志曾有详细介绍。这里要说明的是，因为常规天馈系统构成复杂，连接点多，大部分暴露在车外，工作条件恶劣（雨雪腐蚀、震动摩擦）等原因，故障率高，需要经常检查和保养维护，并不太适合新手使用。而一体化天馈线系统出厂时就把接头、馈线、固定件和天线做成了一体式的，最大限度地减少了连接点，当然也就大大降低了故障率和维护工作量，适合新入门的朋友使用。

进阶知识

车台天线的4个指标

车台的天线共有4个主要指标：最大承受功率、中心频率、增益、带宽。一般来说，车台的外接天线的最大承受功率都在100W以上，远大于车台的最大发射功率，所以在选购和使用的时候不需要特别考虑，而后3个指标是互相关联的。

我们知道，车台有工作范围，常说的“400M”，低段（400～420MHz）高段（450～470MHz）、业余段（430～440MHz）即此。超出了此范围，车台的收发指标（主要有接收灵敏度和发射功率）就会急剧下降，甚至不能工作，天线也是如此。我们把天线完美谐振的频率称为其中心频率，此时驻波比＝1，即车台发射的所有功率均被天线转化为电磁波辐射出去。离开了中心频率，驻波比就会逐渐增大，我们把驻波比增大到1.5时（此时反射功率为5%）的频带宽度定义为天线

的工作带宽。驻波比大于1.5的时候不推荐工作，大于3（此时反射功率为25%）绝对不能工作，否则车台会损坏（当然车台也有保护电路，但很危险，不能绝对保证安全）。

天线的中心频率是在制作时确定的，一般在包装或者铭牌上会明确标出，不标出的也可以使用驻波表测量出来。

天线的增益取决于有源振子的尺寸和数量，以及是否具有方向性。有源振子的尺寸越大，数量越多，天线的方向性越强，增益就相应越高。打个形象的比喻：100W的灯泡肯定比40W的亮；4个灯泡比1个亮；如果把4个灯泡都装上反光碗，然后照射到一个地方——太亮了……

天线的带宽取决于以下因素：天线的形式；材料；品质因数和增益。大家记住一点就行了：增益越高的天线带宽越窄。

天线制作出厂到了您手上，中心频率和增益都固定了（一般天线的铭牌都标这两个指标），那么根据天线的形式（如玻璃钢天线、不锈钢天线或八木天线）、材质、制作工艺就能估算出天线的使用频带。如正厂出品的5.5dBi增益的不锈钢天线，根据经验数据，其带宽为5～6MHz。

天馈系统进阶说明

我们已经说到，理想的天线应该是驻波比SWR为1，此时车台发射的所有功率均被天线转化为电磁波辐射出去。有人要问了：怪了，天线都放那儿了，驻波比难道还不确定吗？

没错，天馈系统的驻波比跟天线的安装位置有关！

车载天线需要利用车顶的铁皮（钢板，别抠字眼啊，你开了天窗？个案，单独处理！）做地网，共同构成完美的天线系统。吸盘虽然是和铁皮绝缘的，但两者之间有不小的电

图5 U/VHF双段通过式驻波功率表RS40

容，在高频状态下是通路的。改变天线的位置，实际上是改变了天线系统的地网，驻波比会跟着改变。理论上讲，天线应该放在车顶的中间位置，这个地方周围的地网最理想，也是天线出厂测试的默认位置。但实际生活中天线可能会太长而影响下地库，所以有些朋友把吸盘放在后备箱上或者使用卡边。这个时候，天线的工作状态还理想吗？

我的答案是：不一定。（您先别急，我也不是逗您玩，真的是不一定。）

换句话说可能您会舒服点：

理论上车载天线是应该放在车顶中央的，但实际上如果调整得当，完全可以放在后备箱上或者使用卡边夹在任意地方，甚至发动机盖上。

如何“调整得当”？答案很简单：使用驻波表，测量在所选择的位置安装时天线的驻波比。边测量边调整，直到驻波比小于等于1.5。

目前全新的U/VHF双段通过式驻波功率表也就是200多元，几个朋友合买一个轮流着用，绝对物有所值。

驻波功率表的用处远不止此。笔者曾经为一位爱好者测量其车台天馈系统的工作状况，发现其车台输出功率仅有3～5W，而且不稳定。拆下车台用假负载测量就有30W，仔细检查，原来馈线的接插头做得不好，屏蔽层有几根铜线和芯线短路了。这位老兄居然这样使用了半年！多亏摩托罗拉的车台皮实，不然早烧毁报废了。

进阶知识

天线的驻波比和天馈系统的驻波比

一个需要说明的问题是：天线的驻波比不等于天馈系统的驻波比。道理很简单，馈线的传输损耗会使得所量出来的驻波比数值较小，变成“虚假驻波比”。驻波比的计算公式如下：

驻波比计算公式为：

$$V_{SWR}=\frac{\sqrt{发射功率}+\sqrt{反射功率}}{\sqrt{发射功率}-\sqrt{反射功率}}$$

例如，原本天线的驻波比为3(反射功率百分比为25%)，现在加上一段衰减量为3dB的馈线，假设车台的发射功率为30W，则经由馈线传到天线的输入端时只剩下15W，然后反射25%，即3.75W，经由馈线送回来只剩下1.875W，所以驻波比表量到的是输入30W，反射1.875W，反射功率百分比为6.25%，即SWR为1.67，看起来还不错！所以，选用高质量、低损耗的馈线非常重要。

最后提醒一点，天线的好坏不能单看驻波比。天线的进阶指标有辐射方向图、有效高度、天线效率、极化方向、最大增益系数等，对应于不同用途的天线，需要侧重的指标也是不同的。有兴趣的朋友可以借助新华书店和互联网查找和学习一下。

下期我们接着介绍车载短波电台的使用进阶知识。

作业1 抽出半天的时间，关掉手机，推掉杂事，集中精力，对照FT-7800R操作手册（中文版可向互联网搜索下载），认真学习和实践一下车台的各种常规操作。重点：频道的设置、分组与命名，多功能手咪的设置和使用，频道扫描，双频守听。

作业2 学会使用驻波功率表测试自己的车台和天馈线系统。如果天馈线系统是分离式的，把驻波功率表先接在车台和馈线之间，再接在馈线输出端和天线之间，看看两次的输出功率和驻波比的读数有何不同。

火腿操作入门

车载短波电台进阶

◎方明（BA6AA）

春暖花开，驾车出游。和风艳阳，温暖舒适。顺手打开车载短波电台，和全国各地的爱好者相互问候，交流一下各自身边的天气状况、信号报告、设备情况，探讨一下路边的野花要不要采，真是应了那句广告语：美好生活，从今天开始。好了，赶快寻找和安装好你的车载短波电台系统，加入“天下火腿是一家”的大家庭吧！

上期我们已经讲到了，在1.5~30MHz的短波频段内，共有160m、80m、40m、30m、20m、17m、15m、12m和10m共9个业余频段，每个频段的带宽和允许操作的工作模式各不相同，详见本杂志往期或向互联网查询。这里我们分别以短波单波段单模式的YAESU FT-8900R和全波段全模式的ICOM IC-706MKIIG为例进行讲解。

YAESU FT-8900R是上期讲到的FT-7800R的姐妹机，外形尺寸、安装结构和操作方式都差不多，连话筒都是相同的。不同的是，FT-8900R的功能更加强大，它是一款具备四波段工作能力的全双工车载电台，内置双VFO，可同时工作在两个频率上，除了VHF的6m业余波段、2m业余波段和UHF的0.7m业余波段之外，还能工作在短波的10m业余波段。

图1 YAESU FT-8900R

进阶知识

全双工、多波段与VFO

通信工具的工作方式有全双工、半双工和单工之分。所谓全双工，是指通信设备可以同时进行接收和发射，也就是使用者可以边听边讲话，我们的电话、手机都是全双工的，因为你在讲话的同时可以听到对方的话。如果你和朋友训练有素，你们完全可以同时讲话，在告诉对方信息的同时，收听并记录下来他告诉你的信息，这样你们就可以缩短通话时间并节约一半的话费了……听起来很美，但我敢打赌你目前还做不到这一点。虽然通信工具是双工的，但人类舒适惯了，习惯于工作在“单工”状态，也就是闭嘴先听对方的说话，然后对方闭嘴你再说话。对讲机和大多数电台就是“单工”的通信工具。你在说话的时候需要按下PTT键（发射键，原意是Push To Talk，即“按下再讲话”键），即人工把这个机器从接收状态转换到发射状态，讲完了再放手，听对方讲。

显然，单工的通信设备没有双工的好用，因为需要人为切换工作状态。那为什么对讲机不做成全双工的呢？除了电路复杂，增加成本之外，很重要的原因是，全双工的设备，时刻处于发射状态，相对于讲话时才发射的单工设备，会浪费宝贵的电力，特别在应急和移动通信，使用电池供电的时候，节电尤为重要。

半双工指的是收发异频操作，一般是指通过中继进行通联。因为收发使用不同的频率，类似全双工模式而得名，但实际上因为收发需要转换，仍然是单工方式。

俄罗斯的多用途重型舰载战斗机苏33M的机载雷达可以同时跟踪12个机动目标，并可同时攻击其中的6个。FT-7800R可以工作在2m和0.7m两个业余波段，但某一时刻只能工作在其中的任意一个；FT-8900R可以工作在10m、6m、2m和0.7m四个业余波段，而且某一时刻可以工作在其中的任意两个。也就是说，它可以同时守听两个频率，或者在守听一个频率的同时在另一个频率上发射，是一部全双工电台。

VFO的概念是可变频率振荡器，是给电台提供基准频率的电路单元。不论频率怎么变，VFO只能输出一个基准频率。FT-7800R只有一个VFO，所以某一时刻只能工作在一个波段的一个频率上，而FT-8900R有两个VFO，所以某一时刻可以工作在某两个波段的两个频率上。当然，这并不意味着拥有两个VFO的电台都是全双工电台，因为还需要其他配套电路单元的支持。

FT-8900R的车载安装注意事项与7800R类似，详见上期，使用操作方

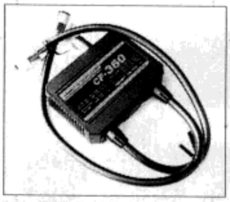


图2 CF–360天线合路器

法详见说明书。我们重点讲一下车载天线的选择。

为了完成10m波段的车载移动操作，需要选装相对应的天线。方案有两种：一、选用日本钻石CR8900天线。这是一款给FT-8900R量身定做的四波段车载天线，全长1.25m，重490g，最大的优点是不需调整即可工作在8900R的4个波段。根据合肥市爱好者的报告，在每年的5~10月，传播开通的时候可以很轻松地和新疆、东北、西南和广东等地的爱好者通联，在半年内完成0~9区的通联，向CRSA申请10m单波段0~9区的通联奖状并不困难。唯一的缺点是价格较高，需700元左右。

还有一种方案是选用10m单波段车载天线，和U/VHF天线互换使用。优点是价格便宜，缺点是使用不方便。笔者的建议是自制或购买一个天线合路器，其内部的电路是一个低通滤波器和一个高通滤波器，电台工作在10m波段时，高通滤波器截止，其输出端的U/VHF天线被关断，低通滤波器开通，其输出端的10m波段天线被接通到电台上，电台工作在U/VHF波段时，低通滤波器截止，其输出端的10m波段天线被关断，高通滤波器开通，其输出端的U/VHF波段天线被接通到电台上。图2是Comet CF-360A型天线合路器，它可以将输入的电波按照频率分别输送到两个输出端，一个允许的频率范围是1.3~30MHz，另一个是49~470MHz。

进阶知识

什么是低通和高通滤波器?

滤波器是一种信号处理电路或装置，可以设定对于不同频率的电波信号进行不同的处理，通常是“简单粗暴”的做法：阻断或者放行。高通滤波器的作用就是把频率低于设定值的电波给阻断掉，只让比设定值频率高的信号通过，低通滤波器则反之。听起来很简单，但组合起来就很有用了，如上面的天线合路器，把一路输入的信号，根据频率的不同分别送到相应的出口和天线上去。低通和高通滤波器还可以组合成为带通或带阻滤波器。比如，你正在收听7.050MHz的信号，此时在7.150MHz和6.950MHz各有一个功率强大的干扰信号影响你的收听，你就可以在接收机的前端串进一个截止频率为7.100MHz的低通滤波器和一个截止频率为7.000MHz的高通滤波器，两次处理的结果就是：只有7.000～7.100MHz频率的电波可以进入接收机，其他频率的电波都被挡驾了，这样你就可以舒服地收听不受干扰的信号了。

在10m波段操作时应注意以下事项：

1. 10m波段的电波传播是否开通依赖于电离层，如果传播没有开通，再大的功率也无济于事。传播的开通是有规律的，每年5～10月的下午和晚上会有较大几率；

2. 10m波段的传播开通时间往往较短，通联应简洁明确，抓紧时间确认对方呼号和交换信号报告；

3. 短波的通联卡片非常珍贵，别忘了在车上放置好电台日记本，做QSO的时候做好纪录，便于填写和交换QSL卡片；

4. 当你通联到了0～9区中每个区至少一个业余电台之后，别忘了向CRSA申请“中国无线电运动协会0~9区奖状”啊。这将是你火腿生涯进阶的重要标志！

10m波段依赖于传播的开通，这意味着在需要的时候，不能保证一定能用，换句话说，在抢险救灾等应急通信的情况下不能保证有效通联。发生紧急情况的时候，应急现场最需要的，往往是一两百千米范围内的无盲区、无障碍的通信保障，也就是说，必须在一定的距离范围内建立不受时间、天气、位置、传播和地形地貌等客观条件影响的可靠通联。而符合这一要求的，恰恰是短波的低端波段。这一事实已经被参与汶川特大地震通信保障的火腿们所证实：在山区环境下，超短波通信隔个山头就成了哑巴，毫无用武之地；四川协会不得不面向全国爱好者紧急征召成套的短波移动通信设备。未雨绸缪，建立有效的中短距离无盲区移动短波通信网，让自己的技能和设备能够随时为社会和他人提供帮助，是火腿们所能从事的最有价值和意义的事情之一。

ICOM IC706MKIIG是一款适合车载的全波段全模式业余电台，我们重点介绍其车载安装。

为了方便车载移动操作，IC706MKIIG车载安装时需要选用一些特定的配件，包括AH-4小体积短波全自动天调，AH-2B车载短波天线和面板分离安装套件。一般情况下，安装分三部分：天线和天调安装在车尾，主机可安装在行李厢或后座后面的置物台上，面板和主机分离后，安装在中控台附近，分别说明如下：

短波天线和天调的安装

AH-2B短波天线就是一根2.5m长的钢丝，下面是缓冲弹簧，底座和车载安装支架，见图3。安装的方法是使用原配的不锈钢大螺丝和法兰盘把支架拧紧固定在汽车尾部的拖车孔上，见图4。全自动天调安装在后保险杠和车体间的空隙中，见图5，用4个螺丝固定在后备箱上。天调的数据线和射频电缆一起经过牌照灯的电线孔引进后尾箱，从隔音棉和地板之间走线，接到主机上去。注意：天调有根单独

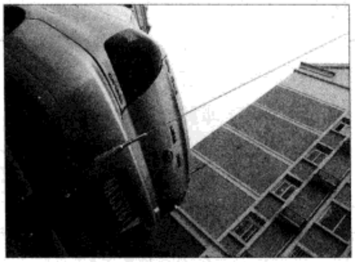


图3 安装在车辆尾部的AH-2B短波天线

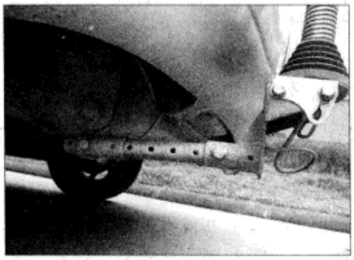


图4 短波天线支架安装特写

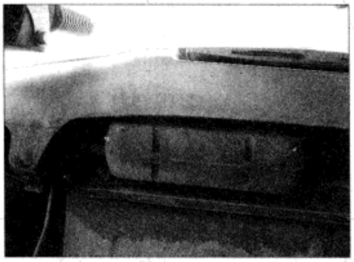


图5 天调的安装

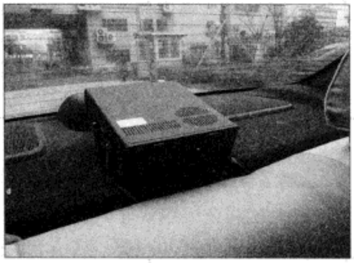


图6 主机的安装

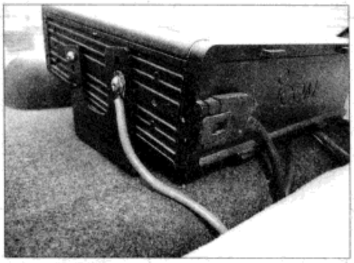


图7 主机的接地

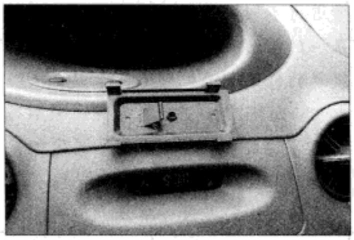


图8 固定好的面板分离安装支架

图9 安装在中控台上的操作面板

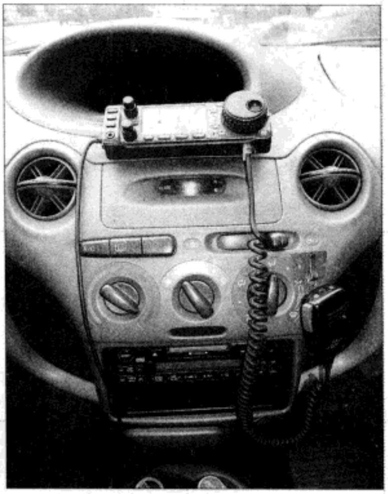


图10 安装完毕的面板和话筒支架

的接地线，需要可靠接地。

主机的安装

本例中，主机使用安装支架安装在后排座椅头枕后面的置物台上，见图6。主机也可以安装在行李厢中，但因工作温度较高，要注意散热；同时，还需要安装外接扬声器。主机同样需要单独接地，见图7，可用截面积为4平方毫米的多股铜线，尽量短距离地连接到金属车体上。

因短波电台功率较大，供电线路建议使用截面积为4mm^{2}的多股铜线直接连接到汽车电瓶上。为确保工作正常，供电线路上要扣上退耦磁环。

面板的安装

为方便使用，建议操作面板和主机分离安装。面板可安装在中控台上，安装方法是：使用3M自粘胶带将面板分离安装支架固定在中控台上，见图8，然后将706的控制面板卡上即可，见图9。话筒挂钩也用胶带固定在合适的位置，以便于操作，见图10。

面板安装完毕后，用面板分离线连接到主机上，就可以开机调试了。

开机调试前，务必再次确认电源线连接正确可靠、短波和UV天线没有接反、主机和天调都已可靠接地、天线主体没有对地短路、高压连接线没有破损和开路。

调试的主要内容是测试车载天线系统能否在所有业余波段自动调谐和正常工作，应从低波段到高波段逐个测试。如发现个别波段无法正常工作，可调整车载天线底座支架的长短，从而改变天线与车身之间的距离；或松开天线和底座之间的固定螺丝，微调天线的长度，还可以改变接地点，增加接地面积。如果发现发射时影响主机正常工作，出现频率锁死或乱跳现象，则应在面板分离连线的两端加装高频退耦磁环。

调整好的短波车载电台会有良好的工作表现。笔者在京珠高速上和上海、安徽、北京、广东、西藏的爱好者在40m、20m、15m等波段均可以进行良好的QSO，信号在52~59。

使用车载短波电台进行通联需要注意的几个问题：

1. 因车载天线是缩短尺寸的底部加感天线，电波发射效率大打折扣，其通联效果跟相同条件下的使用全尺

寸天线的固定电台相比有明显的差距，对操作员也有更高的要求，希望大家注意多通多练，积累经验，提升操作能力；

2.车载短波天线多为垂直天线，电波发射仰角低，不利于近距离通信。在需要做近距离通信的时候，可以从车头用一根钓鱼线把天线向前拉弯成弧形，并把车头指向通联方向，可明显改善通联效果；

3.车载短波电台操作远比超短波调频电台复杂，而且短波单边带信号混杂在噪声信号中需要集中精力辨别，因此在操作时需要高度重视驾驶安全，尽可能停车操作；

4.不同波段的电波传播情况受季节、天气、环境的影响不尽相同，应做到心中有数，顺势操作；

5.在举行国际性短波电台通联比赛的时间里尽量礼让，不要为了自己的需要干扰比赛的正常进行。

进阶知识

天线方向图

灯泡发出的光线可以均匀照亮整个房间；电筒只能照亮正前方的一块地方，因为光线被强制聚集到了一个方向。天线是用来发射和接收电波的器件，不同种类、材料、形式的天线，在不同方向上收发电波的能力也不完全相同。业界人士采用天线方向图来形象化地描绘天线在不同方向上发射电波的能力（即天线发射电波时，在某方向上特定距离的一点上产生的电场强度）。因为我们生活在三维空间里，而你看到的杂志和显示器都是平面的，所以三维的天线方向图需要采用通过天线最大辐射方向上的两个相互垂直的平面方向图来表示，也就是需要一个横切面图和一个纵切面图。这样，你就可以在脑子里把这两幅图“合成”还原为实际的立体方向图啦。

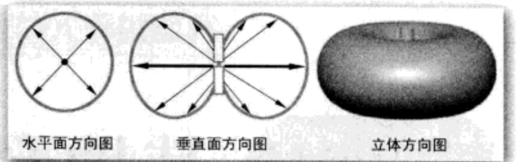


图11 天线方向图

图11是垂直放置的半波对称振子天线的方向图。可以看出，实际的方向图是个苹果形状，垂直于该天线方向的电波辐射场强最大，而天线两端的场强为零。这很容易理解，日光灯管的两头可不就是不发光的吗!

所谓萝卜青菜，各有所爱，为了不同人的不同胃口，工程师们制造了不同种类的天线，它们的方向图也各不相同，有的像木瓜，有的像梨子，有的像黄瓜。当然专家们不会这么说，因为太不专业了，完全不能让我们仰慕他们。为了制造浓郁的学术空气，他们发明了各种专业词汇，如天线的增益、波瓣宽度、前后比、极化方向等，无非为了说明这些水果的大小、形状、用途各不相同罢了。本次“天线水果学”到此为止，有兴趣的朋友还是私下交流吧，哈哈。

作业1 了解学习关于短波电波传播的初步知识；

作业2 改变短波天线相对于地面之间的距离，会影响其天线方向图的形状。请了解和学习一下相关知识，和朋友们讨论一下如何架设更适合自己的短波天线。

火腿的旅行工具箱

——摘自《业余无线电移动应用指南》

你可能在城里开车50年，电台与天线从未出现过大故障，即使偶尔出现小故障，你也可以回家修理。但是有一天，当你来到很远的地方，电台突然出现问题（例如电缆断裂、支架松动、保险丝熔断等），你应当怎么办？此时，如果你有一个简单的旅行工具箱，你就可以马上解决问题，重新开始通信。如果你没有，你将会懊丧地发现，沿途的许多城镇都没有无线电修理店。

下面是旅行工具箱的基本配置表，你可以根据自己的具体情况，增加其他工具。按照著名的墨菲定律，如果坏事可能发生，那它一定会发生，但我们不可能准备所有的工具，我们只要准备最基本的工具即可。

●万用电表，用于固定蓄电池的接线夹子、电台支架和天线吸盘的工具，包括通用扳手和其他紧固工具。

●电工绝缘胶带（千万不要把它放在家里），电台使用手册（除非你是天才，能够记住双波段车载电台的2461条编程指令）。

●备用保险盒，包括电台的和汽车的。如果在你通信时，车内空调机的保险丝熔断，你的电台很快就会变热。

火腿操作入门

基地台接收操作进阶

◎方明（BA6AA）

本期我们谈一下基地台的接收操作进阶，下一期谈发射操作进阶。

我们以CROSS种类的代表机型YAESU FT-897D为例，这是一款在我国业余爱好者中间保有量很大的机器，功能强大，价格适中，使用方便。图1和图2是FT-897D的前后面板。

进阶知识

基地台的工作状态

“状态”实在是一个含义很模糊的词。如果一个朋友问你：嗨，昨天状态如何？那么他的真实意图往往要配合表情进行解读。如果表情严肃，可能是问你昨天工作是否顺利；如果两眼放光，大概想知道你昨天在股市进账多少……同理，工作频率、工作模式、输出功率、DSP设置，甚至天线的匹配程度都可以称为基地台的状态。这里我们仅讨论机器的V/M状态。

VFO的概念我们在第4期文章中已经讨论过了，它是给电台提供基准频率的电路单元。改变VFO的输出频率就等于改变电台的工作频率。调谐手轮的主要用途就是改变VFO的输出频率，这是因为在最初的电台里，这个手轮是用来构成VFO的LC震荡回路的可变电容器的“动片”的，显然轮子越大，调谐就越精细。但是，如果需要将工作频率更改到很远的地方，就需要转动很多圈调谐手轮，用过老式收音机的朋友都有此体会。为了节约时间和手劲，我们有两种办法可以选择：一是改变调谐手轮的步进值，也就是把“细调”变为“粗调”，比如把原设定每旋转一个单位角度，频率变化1Hz改为1000Hz，这样就等于快了1000倍（对于FT－897D，短按电源键即可切换粗调和细调）；二是使用波段切换键，在各业余波段之间进行跳跃切换，然后再用手轮调谐。

即使这样，火腿们仍然觉得还是不够方便，特别是在时间就是分数的比赛中。幸运的是，电子技术的发展给了我们更高效的调谐方法，那就是切换存储频道（MEMORY或CHANNEL）。假设有10个常用频率，我们可以把它们存储在M1～M10这10个频道中，这样在需要的时候，直接使用按键或旋钮进行选择即可，免去了辛苦转动调谐手轮的麻烦。

既然如此，那为什么所有的基地台都还要保留硕大的调谐手轮呢？其一，火腿们花巨资购买的基地台，不可能只用10个频率，那样岂不是太亏了？如果将1000个频率存储进频道中，那选择频道未必比转动手轮更方便；其二，在某些通信模式如卫星通信中，需要不断变换工作频率，显然此时转轮子比按键更好用；其三，火腿族希望有自己独特的文化元素来彰显个性，如果电台的面板像个手机，而价格却比手机贵上10倍，通话效果还不能保证，那恐怕只有傻瓜才会买啦。——既然调谐VFO的大轮子不可缺少，工作在存储频道状态也很重要，那么面板上就必须有一个V/M两种工作状态的切换键，即使面板最简洁的FT－817ND超便携式电台也不例外。

FT-897D上的Home频道呼叫键的作用是一键切换到Home频道。Home频道可以设定为你最常用或最重要的一

图1 YAESU FT—897D前面板

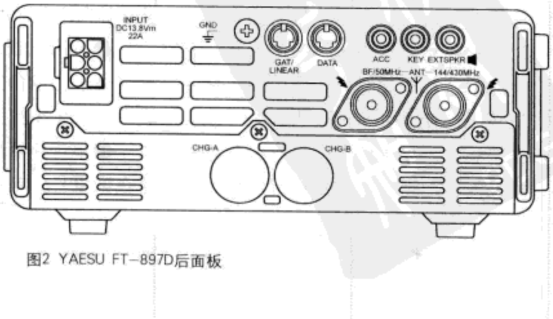


图2 YAESU FT—897D后面板

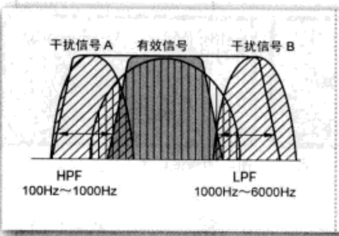


图3 DBF作用于SSB信号示意图

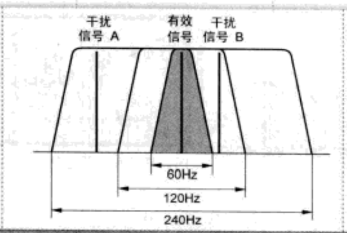


图4 DBF作用于CW信号示意图

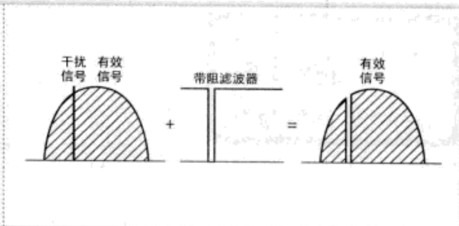


图5 DNF作用于SSB信号示意图

个频率，比如你最常使用的短波呼叫或守听频率，你参加的台网频率或本地中继频率，或应急通信频率。存储频率时，可以同步存储预设的工作模式、输出功率、是否开启DSP等状态。

DSP的概念上一期讲过了，我们来讲一下DSP的具体内容。在FT-897D电台上，DSP功能共有3个选项：DNR、DNF和DBF。

DBF指数字带通滤波器。我们已经讲过，带通滤波器是由低通和高通滤波器组合而成，可以滤除跟接收信号不完全同频的干扰信号，其带宽取决于低通和高通滤波器的截止频率。数字带通滤波器的好处是：低通和高通滤波器的截止频率是可调的，可以最大限度地滤除跟接收信号频率相近的干扰信号。此外，不同工作模式所需要的信号带宽是不同的。对于SSB信号，因为语音信号的能量大部分集中在300~3000Hz频率范围内，所需要的带宽为2.7kHz，对于有经验的操作员来说，可以分辨语音信号所需要的带宽更可以低至1.8kHz。可以想象，所需要的带宽越窄，意味着可以排除的噪声信号越多，也就是信号的信噪比得到了提升，因为信噪比达到一个固定值后信号就可以辨识，信噪比提升就意味着信号强度更低的信号（往往是距离更远的信号）从不可辨识变成了可以辨识了——这就是DBF的作用，见图3。“金耳朵”们可以借助DBF的帮助，在宽广的无线电频谱瀑布中仅仅打开一条细缝，辨识自己所需要的信号，也就意味着提升了信噪比，可以听到更加微弱和遥远的信号；而对于CW模式，因为只需要听到一个单音频的有无和“长短”而不需要有频率的变化，所需要的带宽更可以低至50~60Hz，这就意味着“细缝”更细，信噪比更高，可以辨识的信号更加微弱和遥远——这也正是CW模式可以通联得更远的原因，见图4。.

DNR指数字噪声衰减，用于提高弱信号的信噪比。DNR技术是通过变化的话音峰值动态地调节输出话音开关，从而达到降噪的目的。需要指出的是，DNR虽然是目前较好的一种抗噪声模拟处理技术，但也存在一些局限性，包括轻符音掉字和强音噪声拖尾，降噪效果偏重于低频等，所以效果并不是绝对的。

DNF指数字陷波滤波器，用于滤除音频通频带中的有害载波或外差信号。DNF的本质是一个通频带很窄的带阻滤波器。上面我们讲到了DBF可以滤除跟接收信号不完全同频的干扰信号，但是，如果在1.8kHz的语音信号中，混进了一个带宽很窄（假设为60Hz的外差信号）的干扰信号，DBF则无能为力。这时就需要启用DNF啦。如图5所示，调节DNF的通频带的带宽和中心频率，使之与干扰信号相适应，就可以将干扰信号从有效信号中“摘”掉。

显然，DNF不能用于CW信号。因为CW信号的带宽太窄了，如果使用DNF处理的话，那就成了“泥菩萨过河，自身难保”了。

CLAR旋钮的功能和作用

CLAR是单词Clarifier信号清晰器的缩写，顾名思义，这个旋钮的作用是使接收到的信号更加清晰一些。为达到此目的，CLAR旋钮有两个功能，使用此旋钮左上方的“CLAR/IF SHIFT”键进行功能切换。第一个功能被称为接收增量调节RIT，俗称干扰清除器，其本质是：不改变接收机的接收带宽，而是在一个小范围内“平移”接收中心频率，以避开固定频率的干扰信号。想象一下这种情况：你和一个朋友在7.150MHz使用AM模式进行通联，接收机的音频通频带为±5kHz，即接收带宽为7.145~7.155MHz。此时，如果在7.146MHz有个功率强大的CW信号，则会严重干扰你的接收。如果还有其他HAM在等候通联，你不方便喊对方QSY到其他频率，则可以使用CLAR旋钮，将接收中心频率上调2kHz，接收带宽变为7.147~7.157MHz，则可以避开干扰，而音质也没有太大的变化。第二个功能是中频偏移IF，原理和RIT相同，不同的是，IF“平移”的不是接收中心频率，而是中频通频带的中心频率。如前所述，DBF可以改变音频通频带的上下截止频率，也可以看作是“平移”了音频通频带的中心频率，这样，三招“乾坤大挪移”配合使用，可以最大限度地滤除干扰，改善信噪比和提升接收灵敏度。

前置放大器和前置衰减器

FT-897D在接收机的前端设置

图6 在菜单中设置IPO和ATT功能

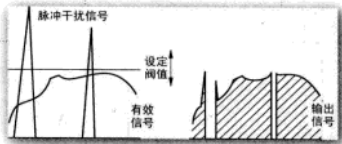


图7 NB电路工作原理

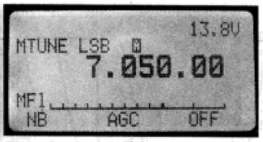


图8 在菜单中设置NB和AGC功能

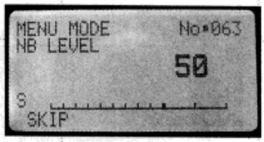


图9 NB阀值设定

了前置放大器（IPO）和前置衰减器（ATT），可分别通过菜单进行设置工作和不工作，见图6。是否使用这两种功能，取决于机器工作的频率和模式。

前置放大器对FM模式更有效，可提高接收信号的强度，增加接收距离；在SSB/CW模式和20m以下的波段应尽量不使用。这是因为SSB/CW接收机原本就是设计用于接收微弱信号的，灵敏度已经足够高，再强行加上前置放大，只会使信噪比更加恶化，甚至引起自激。经验判断是：只要噪声信号能使S表有指示和抖动，就不应该使用前置放大器。

前置衰减器的作用是将所有信号（包括噪声和有效信号）全部衰减10dB，用来在严重噪声情况下使接收到的信号更好分辨。道理很简单：假设有效信号强度30dB，噪声信号强度20dB，此时信噪比为1.5，信号难以分辨，同时衰减10dB后，有效信号强度20dB，噪声信号强度10dB，信噪比提高到了2，信号更好分辨了。

下面再说说AGC（Automatic Gain Control，自动增益控制）功能和NB（Noise Blanker，噪声抑制器）功能的原理和使用。

由于无线电信号在传播过程中传播条件的变化（如电离层和对流层的扰动，天气的变化）以及人为随机产生的噪声（如开关电器，电焊机）对接收机的影响等各种原因，接收机的输入信号强度的变化范围往往很大，信号弱时可以是0.1~2μV，信号强时可达数百毫伏，信号强弱相差可达几十分贝，这个变化范围称为接收机的动态范围。如果接收机的增益（信号放大倍数）是固定的，为了保证对弱信号的接收，增益不能太低，这样强信号来的时候，耳朵根本受不了。于是，我们需要一种能够使放大电路的增益自动地随信号强度而调整的自动控制方法，这就是AGC自动增益控制。

因为输入信号强度不断变化，但却要求输出强度相对稳定，AGC电路的解决办法是：测量输出信号中某个强度特征值（如平均值或峰值），与设定值比较，其差值产生AGC控制信号，去调节可变增益级，改变增益，从而获得强度相对稳定的输出信号。不同的操作模式对控制信号响应时间的长短的要求不一样，如CW和数传模式，其有效信号持续时间短，AGC应快速反应；各种通话模式的有效信号持续时间长，如AGC电路反应时间过快，反而会造成有效信息失真，甚至丢失，可在取样时加入积分电路，延缓AGC电路的动作时间。

噪声抑制器电路用于检测脉冲型噪声（也被称作啄木鸟噪声，如汽车点火系统产生的噪声），并将其消除或抑制。工作原理是这样的：在信号通路上设置一个常开的“闸门”，使用一个检测电路来检测脉冲型噪声，一旦被检测信号超过设定的阀值就把闸门关断，低于阀值就赶紧再把门打开，参见图7。你一定会问：就这么简单？那如果脉冲型噪声持续的话，岂不是永远收不到信号了？

请注意，所谓“脉冲型”噪声，就一定是离散的、持续时间短暂的噪声信号，否则谈何“脉冲”呢！当然，为了避免误判，检测电路的输出同时还被送到一个名叫“噪声抑制AGC”电路的输入端，其输出用来控制闸门，不要在长时间持续的非脉冲型噪声到来的时候关断。由此可见，NB电路并非是万能的噪声抑制电路，它只对脉冲型噪声有效。因电路简单，使用常规元件即可搭建，所以NB电路并未使用DSP技术，在很多早期的常规电台上，如FT-80C，也有此功能。

限于篇幅，各种常规操作请朋友们参考操作手册进行熟悉和使用，这里不做过多讲解。

作业1 FT-897D的进阶接收操作除了本期讲到的内容之外，还有频谱监测、智能搜索、双频监测、CW抄收训练等功能，请自行学习掌握；

作业2 对比FT-897D和你能接触到的其他基地台，看看不同设备之间的接收操作功能有哪些不同之处。

上期作业答案：

天线调谐器的作用是在连接电台的输入端和连接天线系统的输出端之间接入一个可变LC回路，使得两者的阻抗匹配。对天调而言，连接在它的输出端的就是天线系统。室外天调的输出端直接连接天线振子，也就是说，是真正的天线；而室内天调的输出端连接的是一定长度的同轴电缆馈线，然后才是天线振子。我们在第3期已经讲到了，馈线的传输损耗会使得所测量的驻波比数值较小，变成“虚假驻波比”，从而“欺骗”了自动天调，让天线不能被调谐在理想状态，所以室内天调的使用效果不如室外天调。

火腿操作入门

◎方明（BA6AA）

基地台的认知和安装

朋友们，本期起我们来聊聊基地台，谈谈基地台的认知和安装，下期谈基地台的操作和使用。

首先我们来认识一下基地台。我们以YAESU FT-950为例进行说明。

可以看出，面板上的器件共有4类：第一类是显示器件，分为显示器、LED指示灯和表头。显示器多为LCD液晶面板或LED数码发光器件，或两者的组合；LED指示灯用于直观指示电台的工作状态，如接收或发射；表头用来指示接收信号的强度、发射功率、驻波比等，有机械指针式和数字式两种。现代先进基地台的发展趋势是显示器和表头合二为一，采用TFT真彩液晶显示器件；第二类是接插件，包括话筒插座、耳机插座、电键插座等；第三类是控制按键和开关，分为按键、开关、电位器等几种，用于切换工作模式、调谐模拟量（如语音音量和输出功率）和改变工作状态；第四类是一个巨大的调谐滚轮，用于快速改变频率等参数。对于不同厂家、不同型号的基地台，这四类器件的数量、大小、位置多不相同，但总的说来仍然是大同小异。

根据性能和价格的不同，基地台大致可分为普通型、CROSS型和高端机三大类。普通型指的是常规的短波全模式电台，如ICOM的IC-718、YAESU FT-840、KENWOOD TS-450S等，特点是体积、重量适中，价格不高，可满足常规业余电台操作需要；CROSS型指适合车载移动和固定使用两种情况的“跨界”机型，如YAESU FT-897D、ICOM IC-7000、KENWOOD TS-480SAT等，这类机器体积不大，具备一定的防震、防雨能力，外出QSO时便于携带，回到家里接上外接电源和天线又变身为一台小巧的基地台，特别适合大城市里居住在公寓等小空间的白领一族；高端机则主要面向DX族等资深发烧友，功能齐备，指标优越，价格不菲，体积大、重量足、功率余量大，适合满功率长时间不间断操作，如ICOM IC-756PROIII、YAESU FT-2000D、KENWOOD TS-2000S等。表1给出了几款基地台的性能指标，朋友们可以根据自己的需求和经济条件、住房条件等实际情况酌情选购。

选购基地台时应注意以下性能指标：

1．频率范围。市场上的商品机根据发射能力，大致分为纯短波机（1.5~30MHz）、短波+6m业余波段（1.5~60MHz）、短波+UV（1.5~470MHz）三种。需要注意的是：因设计理念不同，有的基地台仅能在限定的业余波段内发射，有的则可在短波和UV段全部频率上发射。而对于接收范围，则需要注意3个指标：接收下限，接收上限，是否连续接收。如同样号称“全波段全模式”机器的IC-7000、TS-2000S和FT-100D，其接收下限分别是30kHz、1.8MHz和0Hz，显然，FT-100D可用于接收超长波信号，如瑞典业余无线电爱好者为了迎接千禧年举办的18kHz播发接收比赛活动；IC-7000虽然差一些，但可以用来收听长波和中波电台；而TS-2000S则只能从160m业余波段“起步”了。这三台机器的接收上限分别是470.00MHz、1300.00MHz和999.999MHz：IC-7000接收上限仅限于0.7m波段，TS-2000S则可以接收0.23m波段的业余信号，FT-100D可以

图1 FT–950

图2 ICOM IC–718

图3 KENWOOD TS-480SAT

图4 YAESU FT-2000D

工作到900MHz频段，显然TS-2000S更胜一筹；至于接收的连续性，IC-7000是分段的，只能接收30kHz～199.999MHz和400～470MHz这两段的无线电信号，TS-2000S和FT-100D都是连续的，从接收下限频率到接收上限频率可以连续扫描，无缝覆盖。

此外，虽然有些机器经过软扩频或硬扩频可以实现收发频率范围的扩展，但往往要以失去保修为代价，建议谨慎操作。

2. 输出功率。大部分基地台的输出功率都是标准的100W，但有些机器为了照顾DX和比赛爱好者对功率的需求，把输出功率做到了150W（如TS-2000S）甚至200W（如FT-2000D）。当然，大功率机器的售价更高，对电源和天线系统也有更高的要求。朋友们在操作基地台的时候，应注意使用符合自己操作证书规定的功率。

3. 操作模式。分接收模式和发射模式，两者并不完全相同。大部分基地台的发射模式限定于SSB/CW/AM/FM/RTTY五种，但有的机器内置TNC，可直接连接电脑进行Packet Radio操作（如FT-897D），有的机器可进行AFSK操作；有的甚至内置了卫星通信模式，不需繁琐设置可直接进行卫星通信操作（如TS-2000）。接收模式除了覆盖所有发射模式之外，有的电台可以接收WFM（宽带调频，如调频广播和电视伴音），有的可以接收模拟电视，据称最新设计的某型号基地台甚至集成了DMVB接收功能，拥有7英寸TFT触控液晶屏，可开发应用接口软件。我想如果再配个游戏手柄的话，就更完美了，哈哈。

4. DSP功能。从1998年上市的IC706一代机开始，数字处理技术开始进入业余电台，开始还只是选件，现在几乎全是标配了。需要注意的是，限于技术发展水平和器件成本，大部分电台采用的都是音频DSP技术，只有部分高端设备采用了效果更好的中频DSP技术（如TS-2000），选购时需注意。

进阶知识

DSP（数字信号处理）技术

现在，数码相机基本上取代了胶片相机成为主流。数码相片的一个优势是可以方便地在电脑上使用编辑软件（如PhotoShop）来进行修改，从而使相片的效果满足不同用途的需要，比如让照片中的你看起来更加光彩照人。这就是一种数字信号处理技术。

DSP（Digital Signal Processing）数字信号处理指先把模拟信号数字化（进行A/D转换），转换为0或1的数字信号，再对数字信号进行一定规则的修改、删除、强化，然后还原成模拟信号（进行D/A转换）。之所以要这么麻烦，是因为DSP芯片（Digital Signal Processor数字信号处理器）是一种CPU，它只能处理数字信号。这个芯片实际上是个SOC（System On Chip）系统，它不仅具有可编程性，而且具备强大数据处理能力和高运行速度，其处理能力和速度是模拟信号处理系统所无法比拟的：想象一下手工刺绣和数字印刷的比较就可以知道了。

数字信号处理技术的另外一个特点是可以预设处理条件，对信号进行“连续的批处理”。如混杂了各种噪声信号的语音信号，我们可以通过对各种噪声信号的分析和数字化，让DSP电路分别对它们进行相位抵消、噪声抑制、阀值过滤甚至动态清洗等操作，把噪声信号处理掉大部分，而让语音信号无损通过，这样，原本淹没在噪声中的、几不可闻的有效信号一下子变得清晰宏亮，甚至还可以展宽语速，使操作变得异常轻松。

DSP的优点：对元件值的容限不敏感，受温度、环境等外部影响小；容易实现集成；可以时分复用，共享处理器；方便调整处理器的系数实现自适应滤波；可实现模拟处理不能实现的功能：线性相位、多抽样率处理、级联、易于存储等；可用于频率非常低的信号。缺点是需要模数转换；受采样频率的限制，处理频率范围有限；系统由耗电的有源器件构成，电路复杂，没有无源设备可靠。但总的来说，优点远远超过缺点。

5. 是否内置天调。对于短波电台来说，自动天线调谐器是非常重要的器件，用来匹配电台和天线，吸收反射功率，保护电台。过去的自动天调都是外置的，随着技术的进步，一些电台开始把自动天调作为一个部件安装在机器内部，使得电台系统的安装和操作更为便捷。当然，带有内置天调的电台价格也相应高一些。

需要说明的是，带有内置天调的设备，需要注意其内置天调的工作

范围。很多全波段基地台的内置天调并不能覆盖机器的所有工作波段。一般情况下，内置天调只能工作在HF波段，或HF+6m波段。此外，内置天调的工作状态跟机器接地、供电质量、天线的形式和长度都有关系，并非是万能的。

进阶知识

自动天调的有关指标

自动天调的作用是：在发射机和天线之间根据需要自动接入一组LC元件，调整天线的阻抗和驻波比，从而使得发射机和天线可以完美匹配。此外，基地台的发射功率都很大，如果天线不谐振，或因外力发生弯折、断裂没有及时发现，驻波比就会变坏，反射功率加大，从而危及电台。此时，串接在电台发射机和天线之间的自动天调能有效地吸收反射功率，保护电台。

自动天调的主要指标有：

最大承受功率：如输入功率超过标称数值，天调有可能严重损坏。

工作频率范围：大部分自动天调可以在1.8～30MHz短波全段工作，有的则可以工作到6m波段（如ICOM AH-4型）。

初次调谐时间：自动天调首次进行调谐所需要的时间，一般在2～10 s之间。初次调谐时间是判断天调CPU算法和性能的重要指标，跟天线长度、工作频率、环境条件均有关系，爱好者们一般使用后都会给出平均的经验数值。

记忆频点数：自动天调可以记住若干个常用频点，这样切换频率时可直接调用记忆数据指挥继电器，直接切换所需要的LC元件，不需要再次调谐。

记忆调谐时间：调用记忆频点进行调谐匹配所需要的时间，一般小于0.5s。

可调谐天线长度：判断天调性能的又一重要指标。自动天调内部的LC元件有一定的数值，天线长度严重偏离谐振长度时有可能无法调谐。一般来说，可调谐天线长度不低于1/4波长的30%。

6．人机界面和操作性。出于对不同功能的偏爱和对操作的个性化理解，不同设备的人机界面和操作便利性差别很大，不同的爱好者可能会给出截然不同的评价。如相当一部分的基地台的调谐滚轮位于显示屏的右方，不便于习惯左手操作的爱好者，他们选购调谐滚轮位于显示屏下方的设备会比较方便，有的设备DSP功能键设置在面板上，可以直接操作和改变参数，但有的设备却需要调用菜单进行选择，需要改变工作模式的时候，有的是一键切换，有的却需要使用多个组合键。建议大家多了解，多试用，以便选择最适合自己使用特点的机器。

基地台的安装和设置，需要注意以下几方面的问题：

注意电源问题。基地台功率大、工作电流大，对电源要求较高。为保证稳定工作，电源必须可靠接地，建议选用内阻较小的优质线性电源。为避免压降，电源到电台的直流供电线路应尽量短，多余的电线建议剪去不用，线路上应扣上高频退耦磁环；

注意散热问题。基地台和电源应放置于通风良好的开放空间，附近不要放置纸张、零碎物品和塑料袋，避

表1 几款主要的基地台性能指标表

	ICOM IC-756PROIII	YAESU FT-2000D	KENWOOD TS-2000S	ICOM IC-718	YAESU FT-897	KENWOOD TS-480SAT
接收下限(MHz)	0.03	0.1	1.9	0.03	0.1	0.5
接收上限(MHz)	60.0	30.0	1300.0	30.0	470.0	60.0
连续接收	YES	YES	YES	YES	NO	YES
发射范围	HF业余+6m	HF业余	HF+6m+UV	HF业余	HF+6m+UV	HF业余+6m
最大发射功率(W)	100	200	150	100	100	100
接收模式	5*	CW/SSB/AM/FM/FSK	CW/SSB/AM/FM/FSK	CW/SSB/AM	5+WFM+PKT+AFSK	CW/SSB/AM/FM/FSK
发射模式	5	CW/SSB/AM/FM/FSK	CW/SSB/AM/FM/FSK	CW/SSB/AM	5+PKT+AFSK	CW/SSB/AM/FM/FSK
调谐滚轮位置	显示屏右侧	显示屏下方	显示屏下方	显示屏右侧	显示屏右侧	显示屏下方
内置天调	YES	YES	YES	NO	NO	YES
DSP	YES	YES	YES	NO	YES	YES
中频DSP	YES	YES	YES	NO	NO	NO
天线接口(缺省M型)	2HF	2HF+1独立接收	2HF+1VHF +1UHF(N)	1HF	1HF+1UV	2HF
话筒插口	8芯标准	8芯标准	8芯标准	8芯标准	RJ45	RJ45
内置电源	NO	YES	NO	NO	NO	NO
计算机控制接口(RS232)	YES	YES	YES	NO	NO	YES
重量	9.6kg	25.5kg	7.8kg	3.8kg	3.9kg	3.7kg
其他特点	HF双接收 5' TFT显示屏	HF双接收	可联网遥控操作		面板可分离	面板可分离
参考售价(元人民币)	20000	26000	16500	4600	5500	9500

【注】*代表前文提到的最常见的SSB/CW/AM/FM/RTTY五种操作模式。

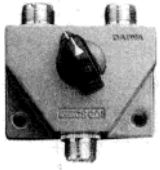


图5 天线切换器

图6 CG3000、CG202A型全自动天调

免堵塞通风孔造成事故，对于喜欢DIY的爱好者，建议基地台操作台和DIY工作台要分开设置，笔者多次在其他爱好者家中见到昂贵的基地台的话筒、面板、连接线不小心被烙铁烫坏“破相”的情景。

注意天线的连接问题。建议在墙上醒目的位置设置一个天线切换器（天线开关），电台的输出端通过一根射频连接线连接到天线切换器的输出端，天线的馈线连接到切换器的输入端。这样做的好处在于：一是避免了馈线的应力直接传递到电台上；二是便于防雷，天气不好时只需转动天线开关，将天线与电台断开即可。当然，天线开关不能代替防雷器，建议天线系统一定要加装防雷器件。

注意天调问题。对于没有内置天调的机型，可以选择购买原厂或通用的外置天调。外置天调有室内型和室外型两种，从使用效果来看，室外型较优，但室内型更方便些。推荐购买BG6CG生产的CG3000（室外型）或CG202A（室内型）全自动天调，价格便宜，性能优越，经国内外火腿多年的使用，性能优于大多数国外产品。

最后，为了便于操作，建议购买或自制一个台式话筒。

作业1 比较不同公司的至少三种基地台的操作面板，看哪些功能按键是相同的，哪些是不同的，做个记录。

作业2 为什么室外天调的使用效果会优于室内天调？

欢迎参加2009CHINA HAM展——无线电爱好者的盛会

2009 CHINA HAM 上海国际业余无线电产业展览会暨上海国际业余无线电节将于6月6日在上海国际展览中心全面亮相。

展会现场除了集中展示无线电产业的国内外多种产品、出版物、服务外，还将围绕无线电现场开展各类丰富多彩的主题活动。其中上海无线电运动协会（SRSA)将现场设立专区进行现场博览和现场服务。在现场博览方面，将通过实物、讲解、演示、陈列等方式来展示业余卫星通信、莫尔斯电码、无线通话、无线电传、慢扫描电视、流星通信、APRS-GPS通信、月球通信等业余无线科技活动。在服务方面，BY4AA将通过现场入会、现场讲解和培训、现场通联和CHINA HAM纪念卡片的发行来向全球传递友善。此外，CHINA HAM展会现场同期将有许多精彩纷呈的活动登台亮相。《无线电》杂志将携ARRL（美国业余无线电协会）业余无线电丛书中文版系列图书在展会上与全国读者见面，ICOM、Yaesu、Vertex、Comet、Diamond国际品牌等将进行专场发布会和技术研讨会，国内品牌相关产品也将做相关演示发布，特设Flea Market专区跳蚤市场供收藏家、DIY爱好者、二手器材及试验装备经销者前来展示和交换您各种无线电设备。

CHINA HAM在展览会和火腿节部分都将特别引进“HAM RADIO无线生活方式全景展示”的相关内容，通过现场展示无线电的最新技术、产品和现场活动来全面反映当代无线电数据通信（电台、对讲机等）、电子、全球卫星定位系统（GPS）、自动位置报告系统（APRS）、无线网络和因特网有机结合等方面的发展趋势，关注无线电在地球空间科学、户外运动、通信、应急救援中技术融合趋势，同时突显市场商机。此外，电台、对讲机、天线、GPS、收音机、示波器等无线电相关设备及模块的展品都将进行现场展览，全面反映无线电产业新动向,为中外生产商、经销商、国内国际买家、无线电操作证执证会员、电子工程师、爱好者交流提供高效的平台。

各地火腿可以通过在www.e-hobbyexpo.com上的预约登记，获取免费参观展会的机会，咨询电话：021-58526739　58527159。

天线制作十二款之一

一个小时可以做成的

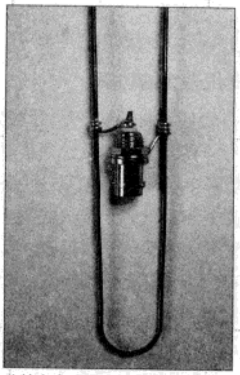
UHF波段天线

◎刘和平（BD1HP）

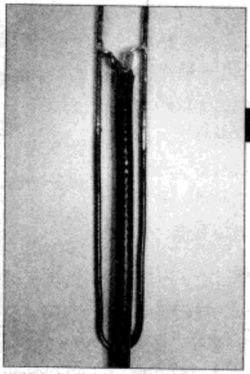
很多业余无线电爱好者都喜欢自制天线，在我做过的UHF波段天线里，有一种天线叫SLIM JIM天线（折合振子J形天线），因其制作容易、体积小巧、造价低、效率较高的特点，值得向刚刚步入业余无线电活动的爱好者推荐。

天线材料

该款天线可采用截面积4mm2的铜线，也可使用2mm直径的漆包线、铜焊条、不锈钢焊条、细铜管等来制作，看您能找到什么材料了。但我还是建议初学者采用粗铜线或漆包线来制作，原因是当制作的尺寸不合适时可方便地修改，如用铜焊条或不锈钢焊条制作，当尺寸不合适时就要推倒重来了。有了制作经验以后，再使用铜管等材料做VHF波段或HF波段的大型天线。



此馈电方式适合裸露安装



此馈电方式适合穿管的方法来安装

天线长度

天线的总长度是3/4波长，右边的1/2波长是辐射段，左边的1/4波长是匹配段。这种匹配方式，是一种对付1/2波长高阻天线最简易有效的匹配方法，各种形式的1/2波长高阻天线都可以用这种方法来匹配，只是手段不同而已。

计算公式：

1/4波长$L=300/F\times0.96/4$

（式中：L—长度，F—频率，0.96—缩短系数）。

此例中：1/4波长$L=300/435\times0.96/4$。

天线宽度

天线的宽度可在10~30mm，主要看你用于封装的PVC管的内径大小来决定。如不用封装，可宽一些，UHF波段20mm、VHF波段50mm、HF10m段80~100mm即可。天线的宽度对馈电点的位置影响很大，天线窄了馈电点的位置偏上，天线宽了馈电点的位置会偏下。

馈电点位置

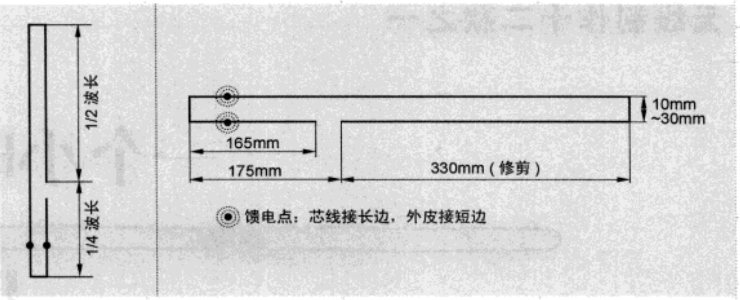
理论值是在天线的1/8波长处，而天线受环境的影响较大，天线的制作尺寸不同，所处的环境不同时，馈电点的位置也会不同，不必细究，这很正常。你从匹配段的开口处向下看，开口处是高阻，很适合与1/2波长的天线匹配，逐渐向下，阻抗也逐渐变低，到短路的地方阻抗为零。这是一个渐变的过程，总会有一个地方是纯阻50Ω，这就是你要的地方，也是效率最好的地方。我做的天线宽度是12mm，馈电点大约在由下向上80mm的位置，仔细调整一下馈电点的位置，在435MHz时使驻波小于1.2，天线就合格了。该天线受环境的影响较大，整个调整过程一定要在实际安装的位置来调整，不然驻波变化会比较大。

天线调整

做完一副新天线，要分两步来调整天线。

1. 先要找天线的自然谐振点，即看天线在什么频率驻波最小，此时先不管驻波是多少，只要看你测的这组数据的最小值就行了。如谐振频率偏低，说明天线长了，如谐振频率偏高，说明天线短了。反复修整天线尺寸，直到你要的频率驻波相对最小。

2. 调整馈电点位置，使驻波调到1.2以内就行了，这样调出来的天线效率最好。



折合J形天线制作图

不管是调UHF、VHF还是调HF天线，只要是调谐振型天线都要走以上两步。不要一开始就调驻波，那样，即使天线的驻波调到1.1时，由于不在其天线的自然谐振点上，天线的工作效率也不高。

天线封装

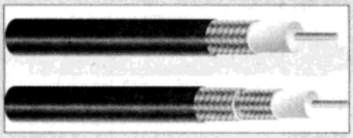
调好后的天线可装入一根PVC管内，管子的上下装上管帽，在下边的管帽上固定一个电缆头或由电缆直接引出就可实际使用了。有一点要注意，调好后的天线装入PVC管内后，天线的谐振点将下降0.5~1MHz。但因天线的工作频带很宽，所以我们也不必太在意。如果你对此不放心，那么你在调天线时，可事先将中心频率调高0.5~1MHz就可以了。

这款天线制作的成功率很高，很适合新手朋友练习制作，天线在准备好材料后，手快的一小时就可做一条，手慢的半天也能完工了吧？苗条瘦小的形状适合安装在任何地方。天线增益大约在4.5dBd，低仰角的特性很适合做远距离通信。

天线小知识

1. 什么是同轴电缆

我们常用的通信电缆是50Ω射频同轴电缆（外形类似于电视上常用的75欧姆电缆），它具有损耗小、频带宽、抗干扰、可弯折、使用方便等优点，所以被广泛用于通信、仪表等领域。选用时可根据所使用频率的高低和天线到设备的距离来选用不同直径和长度的电缆。频率高、功率小、距离长为了减少高频损耗，就要选用直径粗一些的电缆、反之就可选用细一些的电缆。 如HF短波段，天线到设备的距离是20m、设备输出功率100W时,可选用型号为50-5的电缆，UHF波段距离也是20m时，设备输出功率5W就要选用50-7或更粗一些的低损电缆了。



同轴电缆

2. 什么是馈电点

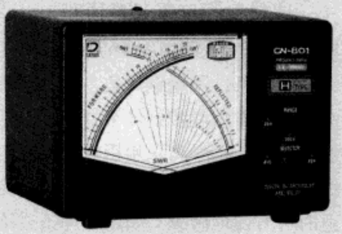
我们使用的50Ω同轴电缆与天线相连接的地方叫做“馈电点”。

3. 什么是天线的高阻抗

当天线的长度为1/2波长且从天线的一端馈电时，天线的阻抗最高为500~600Ω。当天线的长度长于或短于1/2波长时，天线的阻抗会逐渐降低。如无特殊匹配措施应尽量避开使用1/2波长这个长度，这么高的阻抗与我们的设备相接时，设备发热严重且工作效率很低。

4. 调天线常用到哪些设备

常用的有“天线分析仪”或者是用“驻波功率表”，有条件的也可用“扫频仪”或“网络分析仪”等。一般爱好者有一块“驻波功率表”就可以应付了。



驻波功率表

5. 调天线时用多大的功率

一般我们爱好者调天线是用“驻波功率表”，有一点要注意的是：调整时设备的输出功率使用5~10W为宜，不要用大功率。这是因为此时天线的驻波不知大小，如驻波大，极易损坏设备，反之功率也不可过小，这是因为“驻波功率表”内有二极管存在，由于其特有的非线性，过小功率调出来的天线驻波和显示的输出功率都不准确。

天线制作十二款之二

便于在阳台安装的10m波段天线

◎朱轩（BH4RCI）

对于四级HAM来说，通过10m波段电台与较远距离的HAM通联是一件非常令人愉快并且值得自豪的事（10m波段的通联卡片对于四级HAM升级来说也是很有帮助的）。当你有了10m波段的电台，天线也自然是必不可少的。然而市面上所出售的10m波段的成品天线大多为GP形式，而这种垂直形式的天线对于住在非顶层的HAM来说安装是很不方便的，且不说把馈线引到楼顶的种种麻烦，单是去说服住在公寓顶层的住户，同意你在其楼顶上竖起天线，也是一件非常令人头疼的事。

倒V形式的天线在业余爱好者之间非常流行，其通联效果往往也是很不错的，但是其体积仍然不便安装在除楼顶之外的地方。为了便于安装在公寓阳台或者是窗户外，我特别制作了一根便于在狭小的公寓楼安装的10m波段天线，如图1所示。

这副天线的基本原形是扇形偶极子天线，扇形偶极子天线是一种较为宽频的天线，是偶极子天线的变种（类似于X天线）。也许描述这种天线的最好方法是说明它是连接在同一条馈线上的两个类似的偶极子天线，它们的外端点之间展开距离大约是天线振子长度的11%。

这副天线的主梁使用的是一根5.4m的玻璃钢渔竿，其前端较细的三节应去掉。振子可用尽可能粗些的多股电力线，截取长度略大于计算值的4根相同长度的电力线（略大于计算值可留有修剪的余地）。其中每根振子长度$L=\lambda\times0.96/4=300\times0.96/(4f)=300\times0.96/(29.6\times4)\approx2.432$m。把其中两根电线一端相接，并接于巴伦盒（平衡不平衡变换器）的A端。另一端分别固定在同一根PVC管上（两振子末端展开后不作连接），振子末端在PVC管上展开间距的计算如下：振子端展开间距D＝振子长度$L\times11\%=2.432\times11\%\approx0.268$m。用同样的方法把另两根电线制作好，并使其固定于巴伦盒的B端。把其中一根PVC管用胶固定在渔竿的上部，使系在PVC管靠近渔竿的那根振子拉直，并与渔竿保持平行。而另一根PVC管加上适当的配重，使其自然下垂，并使用一根拉绳把内侧的振子拉成垂直。

这样一根便于在公寓楼阳台架设的10m波段天线的主体部分就基本制作完成了。以下将对其所需的巴伦盒的结构与制作进行简单的介绍。

巴伦盒电路图如图2所示。用A，B，C 3根各长为45cm的不同颜色的多股

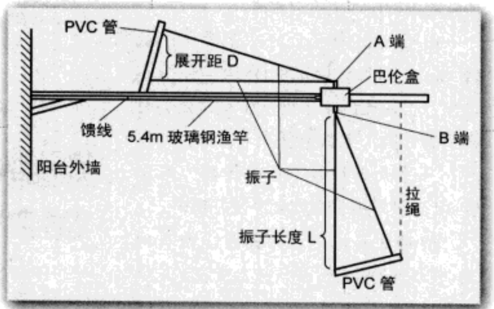


图1 天线安装示意图

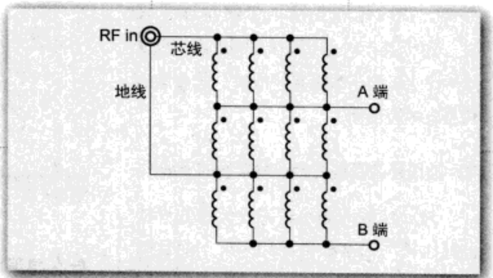


图2 巴伦盒电路图

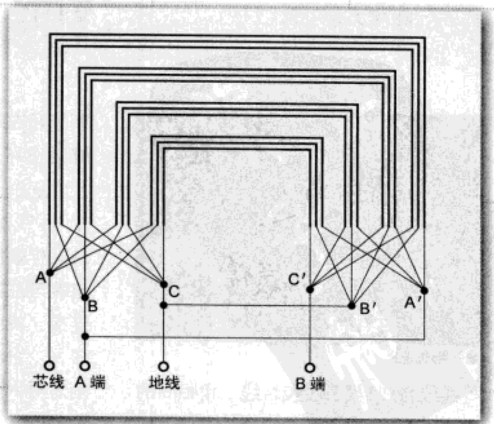


图3 巴伦绕线连接图

天线小知识

◎刘和平（BD1HP）

10m波段的特性及其目前的传播状况

10m波段是短波频段中频率最高的波段，介于HF和VHF频段之间，所以该频段既有HF频段的特性，又有VHF频段的特性。当传播开通时，使用很小的发射功率就能进行很远距离的通信。

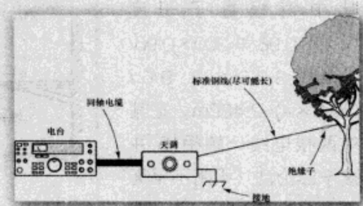
由于2009年还处在太阳黑子的低峰期，所以做远距离的DX通信还很不理想，但每天的中午到下午有时还会有不错的传播，尤其是夏季七、八、九月时，几乎天天都有不错的传播，再过2~3年该波段的传播就会慢慢好起来。

HAM朋友也可以用此波段做本地30~100km的通信，进行技术交流。这个波段时不时可通到一些远地的DX电台，交换一下卡片，作为将来升级使用也很不错。在山地和丘陵地带使用该频段时，由于其电波的绕射能力较强，通信效果比UHF/VHF频段要好很多，适合登山和紧急救援使用。

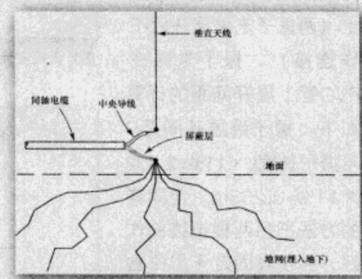
10m波段还有哪些适合业余架设的天线?

10m波段因频率较高，天线的尺寸也就比较小，容易自制和架设，而且制作所用的材料成本低廉，只要按照一定的要求进行制作和调整，即可自制出与成品天线相媲美的天线。

该波段常见的天线有：1/4波长垂直天线、1/2波长垂直天线、J形天线、长线天线、温顿天线、倒V型天线、框型天线、八木天线等。至于采用哪种天线好，主要还是看居住环境和架设条件，采用适合自己的天线就行了。



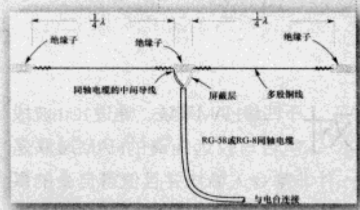
长线天线



垂直天线

什么是偶极天线，X形天线?

偶极天线的全称是半波偶极天线，是由两条1/4波长的天线组成的对称形式的天线，由中间馈电。水平架设时天线馈电点的阻抗为75Ω，特点是：组立简单、调整容易，属谐振天线类。



偶极天线

X形天线又称蝴蝶形天线，是由两个三角形金属体组成的天线，在远处看天线呈X形，所以叫X形天线。此天线的特点是工作频带较宽，天线阻抗是50Ω（由X形的夹角决定）。

对前文介绍天线的改进建议

该天线是宽带天线的一种，但要覆盖28~29.7MHz的业余频段，需要仔细调整。还有一种方法大家可以试验一下，将其中一对对称振子调整在28.5左右，另一对对称振子调整在29.5左右，振子采用截面积4mm²以上的铜线最好，这样可覆盖很宽的频带。如自制巴伦有困难，也可采用成品的1:1巴伦。

（注：四级朋友在使用时，要注意自己允许使用的频率范围。）

图4 所需工具

导线绞合成1根三股绞合线，用相同的方法再制作3根这样的绞合线。将上面制作好的共4根各长45cm的三股绞合线缠绕在环形磁芯上（笔者使用的磁环尺寸$\phi 35\times 20\times 14$），使其制作成一个4匝线圈。按照图3所示，将线圈末端同样颜色的导线焊接在一起。将A的末端与B的始端，B的末端与C的始端相连接。将A接于天线M接头的芯线上，B' C 为M接头的地线，A' B和C' 分别为两平衡输出点（即巴伦盒上的A端和B端）。把制作好的磁环安装在防水盒中，并与各输出端保持良好连接。值得注意的是，其中的连接线应尽可能地短，以提高SWR特性。

至此，一副便于安装在公寓楼阳台上的10m波段天线的制作过程就介绍完了。调试时，请务必确保各接线部分连接良好，并先使用小功率进行调试修剪以免对电台造成损害。在对其进行的简单修剪完成之后，这副低成本的10m波段天线就可以顺利投入使用了。

天线制作十二款之三

◎刘燕北（BD2BH）

5波段偶极天线制作详解

1/2波长双极天线（Dipole，简称D.P天线）是最为常见短波天线之一，也是其他天线的基础。因为其构架简单，调试容易，成功率高，得到了HAM们的广泛推崇。由于居住环境的限制，在没有条件安装大型、多波段定向天线的情况下，简单的D.P天线成为了爱好者架设天线的首选，初学者一般都是从单波段D.P天线开始入手ON AIR（通联）。在获得与国内外爱好者通联的成就感之后，大家可能最先想到的就是如何增加波段，或者改造现有的单波段天线，拓展天线的覆盖频段，以适应不同级别的频率操作范围。本文就为大家介绍一种拓展了频率范围的5波段偶极天线，可工作于80m、40m、20m、15m、10m五个波段。该天线的特点是，占用空间相对较小，DIY容易，适合爱好者制作。天线设计的宗旨：尽量少用Trap(陷波器)或者缩短线圈，尽量水平架设，尽量不用扇形结构，从而减少占用空间，减少对天线辐射仰角和方向的相互影响，提高天线的辐射效率。因此，改天线只用一个7MHz的陷波器，10m、20m、40m为自然谐振，15m为40m三次倍频自然谐振，80m单独架设实在太长，因而加入了陷波器，比原尺寸缩短了许多。

制作基本材料

天线振子用14#硬铜线若干米（公式：半波长为142.5/*f*），

40m天线振子：10.10m+60cm；

20m天线振子：5.01m+35cm；

10m天线振子：2.53m+35cm；

80m天线振子：1.5m+15cm；

绝缘子：2只；

1:1巴伦1只，如BU-50或者自制；

天线振子分离器：Φ12.7mmPVC管一根，截为22cm×6（只），13cm×6（只）；

陷波器：在直径40mm，长270mm的PPR管上，用Φ0.9~1.2mm高强度漆包线绕68圈。

天线的基本形式

天线的基本形式如图1所示，为三线平行的基本结构。

巴伦的自制

如果第一次尝试架设D.P天线的话，建议购买成品巴伦BU-50等。

磁环选用外径45mm、内径25mm、厚8mm、导磁率μ为60以上的国产或者进口磁环均可。如图2所示，用RG-58的优质50Ω铜轴电缆正反绕制12圈形成。当然您也可以用直径0.9~1.2mm漆包线三线绞合，在磁环上绕6~8圈（具体制作略）。或者用同轴电缆绕制空芯巴伦3.5~30MHz（这种绕制方法的圈数多少并不重要，关键是电缆的长度）。具体制作方法见图2。

巴伦与振子间的连接

振子两端要用接头，要在压接的基础上进行可靠焊接，然后用不锈钢或者铜螺栓固定。振子间用Φ12.7mmPVC管或者其他高频绝缘材料支撑，振子从支撑分离器中穿过（两端各留2cm），然后用直径2mm

图1 五波段天线结构示意图

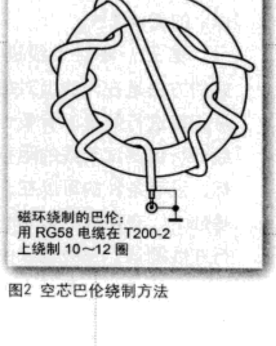


图2 空芯巴伦绕制方法

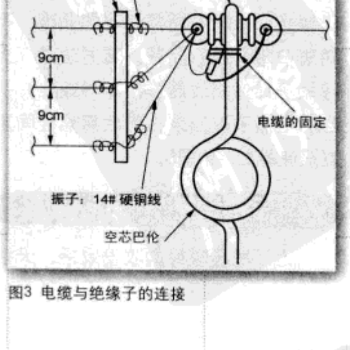


图3 电缆与绝缘子的连接

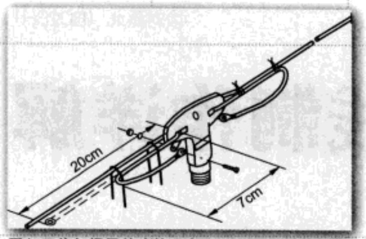


图4 巴伦与振子的连接示意图

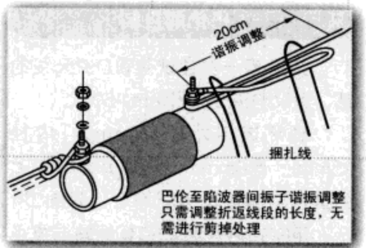


图6 巴伦至陷波器连接图

漆包线捆扎结实，防止移动，天线变形，如图3、图4所示。

天线振子末端与绝缘子的连接

本天线振子的连接与爱好者常用的W-8010不同。它不需要每个波段专门连接40cm的修剪（尾巴）线段。只需要结一个扣，多余的部分沿振子折返回来，用捆扎线捆好即可，不要留有任何尾巴，见图5。

巴伦与陷波器的连接

为了在40m振子上增加80m波段，天线使用了陷波器，因此巴伦与陷波器之间的振子连接有一个中间的过渡，与10m、20m单一振子连接有所不同。这种结构的目的同样是为了便于天线修剪，天线谐振频率的调整，不需要剪短（掉）天线。其方法是：天线振子穿过陷波器连接孔（螺丝），然后沿振子返回来，最后用螺栓固定在陷波器上，见图6。

天线的架设

为了取得较好的收发效果，天线无论架设在楼顶，还是地面，基本要

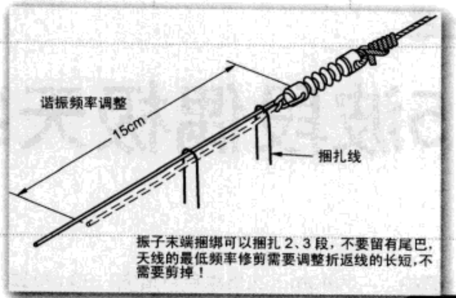


图5 振子末端与绝缘子的连接

求都是架设得越水平、越高越好。同时天线要远离高大建筑物、铁塔和高压线路。如果条件有限，也可以进行倒V形式的架设，天线立杆高度至少8~12m。为了安全，天线两端距离地面要求在3m以上。天线两臂的夹角越大越好，最小也不得低于90° 。必要时，天线的立杆可以用绝缘绳打固定拉线，防止意外发生。

天线的调试

天线架设完成之后，最重要的事情就是对天馈系统的测量。

首先测量自制巴伦的基本特征。给巴伦连接好50Ω假负载，输入100W的功率。检验3.5~30MHz频率范围间的阻抗，一般要求SWR小于1.5。

其次，对50Ω馈线测量，确保所选馈线质量可靠。比如有没有进水，有没有断路、短路等，必要的时候可以进行损耗和阻抗的测量。爱好者应尽量选用优质馈线，低损耗馈线，比如藕芯、发泡绝缘介质的馈线。普通馈线也要求尽量选用50-7、50-9型号以上的50Ω馈线。

第三，要对天线进行测量。最好的方法是在天线上对每个波段的谐振频率进行测量。有条件的可以用天线分析仪测试天线的阻抗、驻波等指标。没有条件的可以在连接好天线的基础上，在馈线的末端利用驻波表进行在线测试。在线测试由于加入了馈线的电抗成分，测量出来的指标并不能真正反映天线的实际阻抗和谐振频率，因为馈线的长短、阻抗大小、损耗会参与并影响天线分析的准确性。但一般说来，爱好者在天馈线末端，简单地利用驻波比表进行测量、调试也能取得较好的效果。

天线修剪基本方法

1. 调试首先从最高波段的振子开始，调整每个波段的谐振频率。10m、20m波段只需要调整绝缘子一端线段的长短即可。方法是将天线振子末端导线在绝缘子（天线绝缘分离器）上系一个活扣，根据测量的结果同时增减天线两臂末端导线的长短。谐振频率低了，要适当缩短天线振子的实际长度；谐振频率高了，要适当增加天线振子的长度，具体方式可以参照图5。修剪天线，不需要用剪刀，更不需要将多余的部分剪掉，只需要将折返回来的导线沿振子捆扎好即可，千万不要留有悬空的“尾巴”。

2. 10m、20m波段调试完成之后，我们就可以继续调整40m波段的谐振频率，方法见图6。根据测试谐振频率的高低，天线两臂适当增加或减少天线的长度。修剪天线长度的时候，不用卸载振子的电气连接，只需要按图6将折返线段端适当延长或者缩短即可。

3. 80m波段的调试。由于40m与80m相关联，因此40m调试好之后就不要再动了。同时，80m由于加入了陷波器，谐振频率会稍微窄些，因此调试的时候，天线两臂在陷波器之后的长短需每2cm修剪一次。

10m、20m、40m一般情况下非常好修剪，SWR很容易达到我们期望的1.5~1.1以下。如果40m调试得很好，一般调试其谐振频率为7.050MHz，那么15m波段不用专门修剪，会很容易达到1.5左右的驻波比。

4. 天线由高至低调试完成之后，再对每个波段的谐振、驻波情况进行复查，看看相互之间有无任何影响，先前调试好的波段是否发生了明显的变化。如果高段与低段牵扯较大，还需要进一步按照上面的步骤进行分析、测试和调整。

天线调试是一个很繁琐的工作，天线需要不断地放下、升起、反复修剪才能达到一个良好的效果。制作一款自己满意的天线不是照本宣科、按照公式计算好、架设上去就可以顺利工作的，商品天线也是如此，因此我们必须不厌其烦，Cut and Try！俗话说：好天线不是做出来的，是修剪出来的，就是这个道理。另外一方面，修剪天线振子，在设计、计算时就要留有余地。天线长点还好说，短了就很麻烦，不仅需要焊接，而且强度都是个问题。同时，室内外人员要相互配合，在线测试时，人员要远离天线振子，避免人体干扰影响测试结果，在楼顶调试时人员要精力集中，注意人身安全。

这款天线爱好者在实际架设、运用中，可能会感到天线的长度与实际测试结果出入很大，这都是正常现象。因为天线振子的材质、架设的高低，周边环境、地面等不可测因素的影响，都可能极大影响天线的谐振频率。而我们大家使用的（驻波天线）都是谐振天线，其谐振频率的高低最终决定于天线长短。在我们不能改观现有条件的情况下，我们只要反复细致调试，多波段偶极天线始终是一个人人都会做，个个都能成功的天线。

根据驻波或者阻抗的大小，天线两端1cm、1cm的反复修剪，一副振子没有上上下下无数次的辛劳是很难达到设想的工作频率的。下面有一个修剪D.P天线的基本计算公式，笔者架设天线的时候，经过计算，一次修剪就达到了期望的工作频率，且SWR低于1.5。

例如：假设我们的设计工作频率为14.270MHz，经测试，20m天线达到SWR最小值的谐振频率是13.875MHz。

我们可以用一个可编程计算器，或者在电脑上编写一个小程序，现场计算，即时修剪。

L_a为修剪振子的长度，其值为正时缩短振子长度，其值为负时增加振子的长度；f_o为设计工作频率；f_a为实测得到的谐振频率。公式为：

$$L_a=142.5\times(f_o-f_a)/f_o\times f_a$$

根据计算得知，20m波段应修剪长度L_a为0.2842m，即振子两臂，每边缩短0.2842/2=14.21cm。

◎曹文隆（BA3AG）

HAM关注的几大国际赛事

1. ARRL INTERNATIONAL DX CONTEST，由美国业余无线电联盟举办的（美国50州）竞赛。SSB竞赛时间从每年3月份第1个星期六北京时间08:00开始，共48个小时。CW竞赛从每年2月份第3个星期六北京时间08:00开始，共48个小时。美国以外业余电台的信号报告为：RST+输出功率。

该竞赛赢取WAS奖状。

2. CQ WORLD WIDE WPX CONTEST，由美国CQ杂志举办的通联不同呼号前缀的竞赛。SSB竞赛时间从每年3月份最后一个星期六北京时间08:00开始，共48个小时。信号报告为：RS+从001开始的序号。CW竞赛从每年5月份最后一个星期六北京时间08:00开始，共48个小时。信号报告为：RST+从001开始的序号。

该竞赛赢取DXCC奖状和WPX奖状。

3.IARU WORLD CHAMPIONSHIP，由国际业余无线电联盟（IARU）举办的75个ITU分区的竞赛。时间从每年7月份第2个星期六北京时间20:00开始，共24个小时，SSB和CW竞赛同时举行。信号报告为：RS（T）+ITU区域号码。

4. ALL ASIAN DX CONTEST，由日本业余无线电联盟（JARL）举办的全亚洲竞赛。

其SSB竞赛时间是每年9月份第一个周六北京时间08:00开始，共48个小时。信号报告为：RS+操作者的年龄（YL用00代替年龄）。

其CW竞赛从每年6月份第3个星期六北京时间08:00开始，共48个小时。信号报告为：RST+年龄（YL用00代替年龄）。

该竞赛赢取ADXA奖状。

5. CQ WORLD WIDE DX CONTEST，由美国CQ杂志举办的40个CQ分区的竞赛。SSB竞赛时间从每年10月份最后一个星期六北京时间08:00开始，共48个小时。信号报告为：RS+CQ区域号码。CW竞赛从每年11月份最后一个星期六北京时间08:00开始，共48个小时。信号报告为：RST+CQ区域号码。

该竞赛赢取WAZ奖状。

6. JAPAN INTERNATIONAL DX CONTEST。其SSB竞赛每年11月份第2个星期六北京时间07:00开始，共48个小时。日本以外业余电台的信号报告为：RS+CQ区域号码。CW竞赛从每年3月份第2个星期六北京时间07:00开始，共48个小时。日本以外业余电台的信号报告为：RST+CQ区域号码。

该竞赛赢取WAJA奖状。

天线制作十二款之四

◎刘燕北（BD2BH）

VHF/UHF双波段超级J型天线

J型天线由于其结构简单、辐射仰角极低，具有3dB的较高增益和自匹配功能、便于直接与50Ω同轴电缆连接等特点，得到了广大无线电爱好者的青睐。要实现VHF、UHF段天线合为一体，一般都需要多振子或者陷波器等频段扩展技术，因而商品天线对这些技术采用得比较多，爱好者中自制和使用常见的J型天线以单波段形式居多。本文介绍一款适合爱好者自制的VHF/UHF双波段超级 J 型天线。

工作原理

图1为单波段J型天线。天线基本原理就是1/2波长端馈天线，这种天线不仅可以在UHF/VHF频段使用，而且在HF频段也有着广泛的应用。只不过我们在VHF/UHF频段常见的都是垂直架设，其结构形式类似于英文字母J。天线1/2波长部分为天线的振子，1/4波长部分为匹配单元。

图2为高增益J型双波段天线的基本原理。其原理是在原来半波长J型天线的基础上，通过1/4波长相位线再堆垒一个1/2波长的天线振子，以提高天线的辐射面积，进一步降低仰角，提高增益，据称天线增益可达6dB以上。

图4 1/4波长陷波器（相位线）的制作

如果我们在原有半波长J型VHF天线的基础上，增加一个1/4波长的陷波器，再堆垒一个VHF段的1/2波长振子，让天线三倍频工作于UHF频段，那么此天线就成了我们要介绍的VHF/UHF双波段超级J型天线。

材料

除S0-239插座以外，天线材料都可以在小五金店或者车辆配件商店购得，整个天线可在两个小时内制作完成。

在此VHF/UHF天线的设计中，使用了12.7mm铜油管和6.35mm软铜管两种规格（当然19.05mm直径的油管也可以使用。铝管由于极易氧化，同时顺焊性差，因此不建议使用）。对于双段天线1/4波长的相位线连接装置的制作，笔者曾尝试使用聚四氟乙烯绝缘材料，但后来改变了设计，使用玻璃钢或者尼龙棒来制作，可以进一步提高其机械强度。

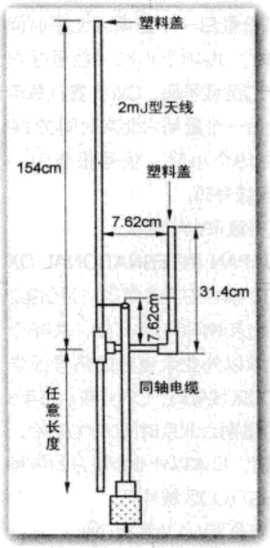


图1 2m J型天线工作基本原理图

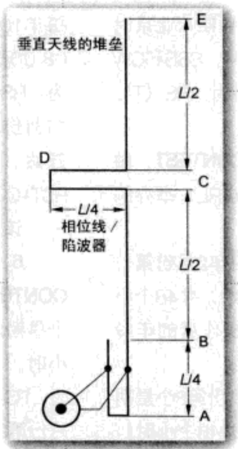


图2 高增益J型天线

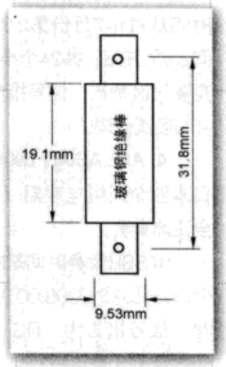


图3 144/430MHz天线天线振子绝缘棒的加工（也可以不用车制，绝缘材料棒的内径与管材相吻合即可）

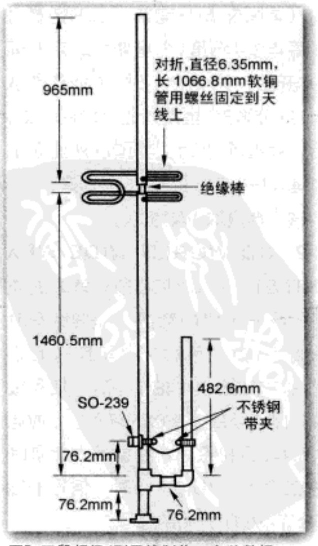


图5 双段超级J型天线制作、安装数据

制作步骤

（1）清洁所有的管道，然后将12.7mm油管按照下面的尺寸进行切割：1460.5mm、965mm、482.6mm、50.8mm，再用一根约76.2mm长（或者更长一些，跟天线谐振频率无关）的铜管作为天线的安装固定部分。除了油管，再购买12.7mm弯头1个，12.7mm三通1个，两个12.7mm端盖（铜的或者塑料的均可），2个直径3～5mm，长30mm左右的不锈钢螺栓。

（2）按照图3所示车制绝缘棒。材料为尼龙棒、玻璃钢，甚至可以用硬木加工成型。

（3）相位线的制作：将直径6.35mm，长1066.8mm的软铜管两臂相距28.58mm对折，弯曲成直径约101.6mm的一个半圈，见图4。

焊接

一是用酒精灯辅助加热，用250W以上的电烙铁焊接，二是用热风枪锡焊或氧气乙炔焊接。焊接组装的顺序为：三通与50.8mm横管的焊接→三通、横管与1/4波长匹配管的焊接→三通与安装固定部分的焊接→三通与2m的1/2波长主振子的焊接→2个铜帽的焊接。焊接完成后，经过降温处理，清洁整个天线。

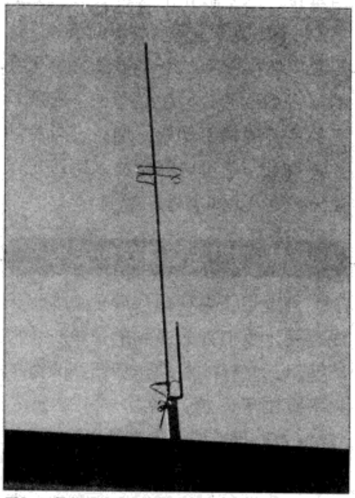


图6 双段超级J型天线的实物照片

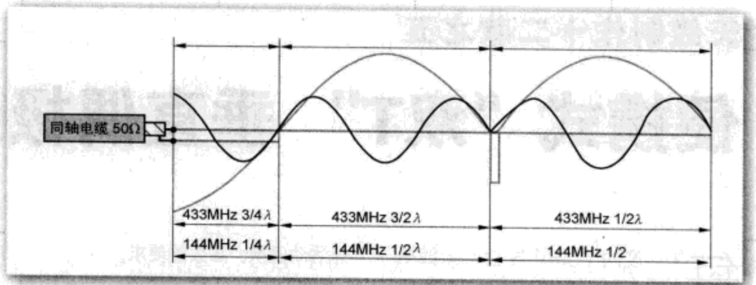


图7 天线馈电、SO-239座安装示意图

组装

（1）将车制好的绝缘棒分别插入2m的1/2波长J型天线主振子和0.7m波长振子中；

（2）将弯折好的相位线根部压扁，打孔，然后用不锈钢螺栓分别与两个振子紧固好；

（3）将两个直径22.23mm的不锈钢带夹分别暂时固定到主振子和匹配棒上，距离底部约1/8波长位置处。

天线的制作/安装数据见图5，实物见图6。

调试

首先，用50Ω低损耗电缆连接到天线不锈钢带夹上，注意芯线连接到主振子上，屏蔽层连接到匹配棒上。其次，连接好驻波比表、发射机。根据驻波的大小，适当调整不锈钢带夹的上下位置，直至SWR最低。

一般情况下，2m段很容易到达我们设计的频率要求，如天线谐振145MHz附近。如果0.7m达不到某些特定频点的要求，我们可以在400MHz振子的顶端铜管内部焊接一个大小合适的铜质螺母，螺栓旋进去后刚好露出一个螺帽的高度，这样在必要时可以随时调整400MHz的谐振频率。

当两段频率都达到设计要求时，我们可以在匹配棒上钻孔（不锈钢带夹位置），安装S0-239插座，以方便天线与同轴电缆的连接，见图7（当然不安装M座也可以），再用一段短铜线连接到天线主振子的不锈钢带夹上。如果频率稍微有所偏移的话，适当调整主振子上不锈钢带夹的位置，我们仍然可以调整天线谐振点。

篇后语

该天线制作比较简单，选材、制作容易，最大的特点就是在广泛应用的J型天线的基础上叠加了一个1/2波长振子，进而增加了400MHz频段，并且使得VHF/UHF双段天线增益都有大幅提高。当然，是否有这么高的增益，有条件的话，我们可以测试一下具体指标，但是无论怎样，2m有3dB的增益是毫无疑问的，因此值得我们去实践。

关于天线材料的选取和焊接问题需要说明几点。第一，如果我们没有铜管焊接的条件、经历，那么天线可以按照所示尺寸，直接弯折成为一个整体“U”状的J型天线，安装部分的铜管可以省略不计，也可以不焊接法兰盘。固定天线的时候，我们只需要一段绝缘管材过渡即可。第二，制作天线如果没有铜管等合适管材，同时也为了降低成本，根据个人的成功经验，可以用薄壁镀锌铁管焊接成为J型天线，这样可以省略三通和弯头的焊接问题，同时，有条件的话，可以对天线整体进行镀铜处理，防止氧化、锈蚀。

天线制作十二款之五

◎刘燕北（BD2BH）

便携式“双T”垂直偶极天线

每年一度的“5.5中国业余无线电节”正日益临近，拥有一款架设简单、效率较高的便携天线，成为喜爱户外业余无线电运动火腿探讨的重要话题之一。火腿们为了野外训练、通信和DX远征等，需要装备一定的随身器材，比如便携式发电机/蓄电池、小型车载/QRP电台等，特别是小巧、高效率的天线。由于架设条件、背负重量的限制，户外架设一款标准天线很不容易，经常因为天线过于简陋、电源容量不够等原因，达不到预想的效果。下面笔者就带你一同去选择并制作一款适合户外运动的便携天线。

天线架设要求的分析

1. 水平极化天线对架设高度有要求

我们可以将现行的天线按照极化方式区分，主要有水平和垂直两种。八木、二分之一波长、正V、倒V、垂直等水平极化等天线，要获得良好的跨越距离，达到预期的效果，其架设高度至少要距离地面1/2个波长以上，此时才能有30°的发射仰角。因此，我们如果没有高度适合的天线立杆和充裕的场地，都将会大大影响通信范围和通信成功率的提高。常用的20m黄金频段，属于比较高的频段，尺寸相对较小，但要达到这个最基本的辐射仰角要求，天线立杆高度也要10m左右。如果40m等以下波段要符合标准的架设要求，其难度就可想而知了。天线太低了，效率也低，天线架高了，支撑杆往往比天线还要负重。因此一般标准的水平极化天线，很难符合户外活动便携、高效的要求。

2. 1/4波长垂直天线没有架设高度要求

一根放在地面上、普通的1/4波长垂直地网天线，其发射仰角即为30°，而要达到这个辐射仰角，水平天线至少架高1/2波长以上，这是垂直天线最大的长处。虽然这种天线对架设高度没有特别的要求，但是对地网的要求却特别的高，没有15支以上、四面八方铺设的1/4波长地网，其效率连50%都达不到。因为地网是天线的另外一半，好的地网才能获得好的镜像，好的镜像才能辅佐天线的高效发射。繁琐的地网，过大地面的占用，影响了天线效率的进一步提高，同样也限制了我们携带出行的愿望。

3. 1/2波长垂直偶极天线具有良好的辐射仰角和增益

户外便携天线采用1/2波长垂直偶极天线，是权衡了上述天线利弊之后，一个比较好的选择方案。1/2波长垂直偶极天线，不仅发射仰角较低，而且省略了繁杂的地网和支撑杆的要求。垂直偶极天线没有方向性，具有3dB的增益符合普遍呼叫、守听的基本原则。但是我们不能忽视的是，采用这种天线，即便是20m波段天线，半波长10m的高度，对于普通的户外爱好者来说，还是有难度的。同时，由于天线太高，还需要按照120度方位角，打拉一层绝缘固定线。

要使天线便于携带，又有良好的辐射仰角，效率也不能太低，折中的办法，我们自然想到了如何在缩短型1/2波长垂直偶极天线上做文章。

缩短天线物理高度/长度的方法

从实用的角度看，主要有以下几种基本方式：一是用中部或者根部加感的形式缩短天线的高度/长度，二是采用“电容帽”的形式缩短天线的物理尺寸。其中，中部加感天线效率高于根部加感形式，而“电容帽”加载的形式是三者中效率最优的。由于它属于无功耗器件，不仅克服了加感带来的频带变窄、Q值较低、损耗大等弊端，而且对天线工艺、强度的要求都会大为降低，比较适合DIY，具有便携性，符合户外运动的基本需求。

电容帽加载的方式常见的主要有T和十字型两种，按照安装的位置区分，有中部和顶部加载的形式，效率上自然是顶部（端部加载）形式最好。电容帽加载型缩短天线，同时适用垂直、水平极化的各种天线，如八木、偶极、垂直等多种形式天线。这里我们推荐采用1/2波长垂直偶极天线的电容加载形式，就是考虑了它所具有的良好的辐射仰角、增益、自身站立等特点，通过电容帽技术手段可以让天线变得更加小巧。

双“T”型垂直偶极天线

当选用了电容帽加载垂直偶极天线之后，我们首先遇到的是单一波段不够用，怎样才能进一步拓宽天线的频率范围等问题。因为一根320m、15m、10m等单波段的电容帽缩短型垂直偶极天线，制作相对比较简单，甚至比水平偶极天线调试还容易，一个

图1 Sigam—5 20～6m垂直偶极天线

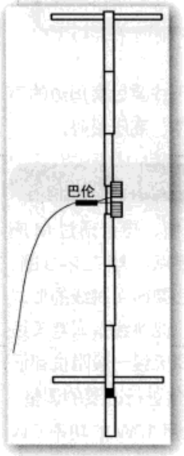


图2 双T型 20～6m垂直偶极天线。

图3 双十字加载多波段垂直偶极天线

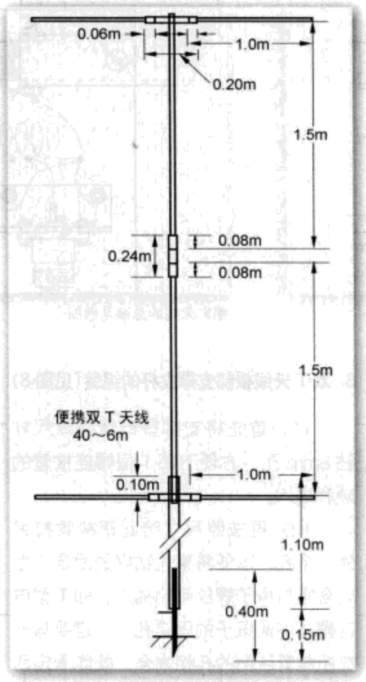


图4 笔者设计的天线基本结构

人完全可以自己架设、调试完成。经资料检索，笔者发现电容帽加载形式的多波段垂直偶极天线资料还是比较匮乏的。目前能看到的，并且应用比较成功的主要有以下3款：

（1）Sigma-5。双T型，中馈，自动天调控制，20~6m多波段垂直偶极天线，见图1。其造价在4000~5000美元，由于技术保密，没有任何可供参考的公开资料。

（2）欧洲爱好者仿sigma-5制作的、靠天调调谐的双T垂直偶极天线，见图2。它省略了sigma-5天线中部的有源控制盒（类似自动天调），采用了不平衡—平衡匹配器+天调的馈电形式。

（3）上下“双十字电容帽”的加载形式，见图3。该款天线的特点是省略了自动/天调。20~10m波段谐振，主要靠调整上下十字电容帽的长短，使天线自然谐振。虽然此天线取消了天调累赘，效率相对高于上述自动和手动天调调谐形式，但是40m仍需要根部加感缩短、手动调谐才能完成匹配。

3款天线中，第1款在天线中部直接加挂自动天调，就其体积和控制装置来说，个人不易实现，第2款，效率相对较低，第3款效率最好，但体积太大，调试极为繁琐，很难实用化，不便于推广。

40~10m便携式“双T”垂直偶极天线

本着适合DIY、高效和便携的基本准则，排除了自动天调方案，也为了避免外接天调带来的低效率，笔者并没有选取调整电容帽谐振的方式，而是借鉴他人经验提出如下设计方案。

天线基本结构：天线采用“双T”电容帽加载，垂直偶极结构。上、下垂直振子各1.5m长；上、下加载电容帽长各2m，中部50Ω馈电，根加载，阻抗匹配的形式，见图4。

天线的制作材料

直径22mm，长1.50m铝管2根；

直径8.00mm，长20cm铝管2根；

直径5.5mm，长1.50m铝管4根；

直径19mm，长24~30cm绝缘棒（玻璃钢等材料）1根；

绝缘板：14cm×12cm环氧树脂绝缘板1块；

支撑杆(管)：直径28mm，长1m，PVC或者PPR管1根；

天线固定钢管：直径20~25mm，长40cm 1根，其中一端打磨尖（极尖），距尖端15cm处，垂直焊接5cm长的踏脚，方便踩入地下固定天线，见图5。

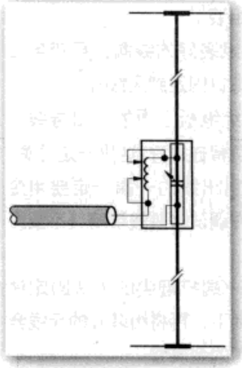


图5 天线固定钢管

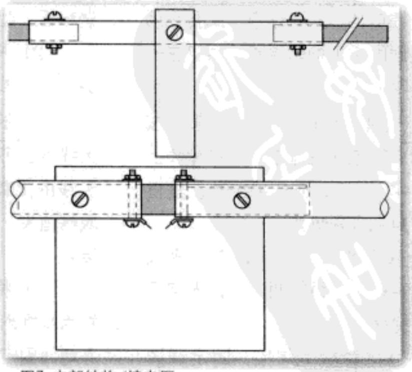


图6 上下双T结构安装图

图7 中部结构/馈电图

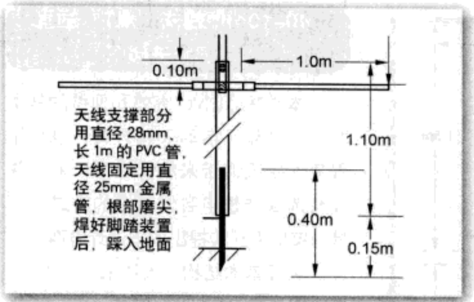


图8 双T天线根部支撑立杆的组装

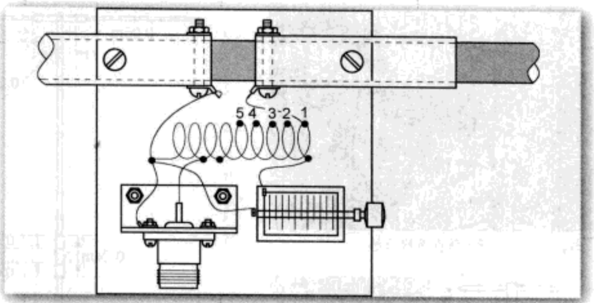


图9 天线的总装示意图

天线的组装步骤

1. 天线垂直振子与T型管的安装

（1）将天线的两根垂直振子一端，距端部 1cm 打孔，直径为 8mm，以便将直径 8mm 连接铝管插入两个垂直振子中。见图 6。

（2）将直径 8mm 连接铝管插入两个垂直振子中，两面长度必须一致，固定好后钻 3~4mm 孔，用直径 3~4mm、长 30mm 不锈钢螺丝将其固定（下端的 T 型帽暂不固定，后面还要加装绝缘立杆）。因为铝管较细，有条件的上钻床操作，以避免打歪。见图 7。

（3）将 Φ5.5mm 长的 4 根铝管分别插入 8mm 铝管，按照图 4 上的尺寸打孔，上螺丝紧固。

2. 天线连接绝缘棒、绝缘板的安装

（1）按照图 4 所示尺寸，在上、下两振子馈电端打孔。注意，此孔必须与顶、端部固定 T 型帽接管的螺钉在一个垂直式平面内。

（2）将直径 19~20mm 绝缘棒按照尺寸插入馈电端铝管中，在绝缘棒上钻直径 3~4mm 孔，固定绝缘棒、垂直振子和馈电点金属垫片。

（3）按照相应的尺寸，在绝缘板和上下垂直振子上再钻两个孔，固定天线振子和绝缘板。

（4）在绝缘板上焊接、固定调谐线圈、M 座和可变电容器。

3. 双 T 天线根部支撑立杆的组装(见图 8)

（1）首先将支撑塑料管按照尺寸钻 8mm 孔，方便下部 T 型帽连接管的顺利插入。

（2）再按照尺寸给此塑料管打另外一个孔，以便将事先钻好的固定 T 型电容帽与振子螺丝顺利插入。即 T 型电容帽与下面振子的固定孔，一定要与支撑塑料管所钻的孔相吻合，既能固定两个铝管，也能固定支撑塑料管。孔打偏了螺丝是安装不进去的。

（3）支撑塑料管与电容帽、垂直振子连接好之后，再在塑料管上开一个孔，用螺钉固定支撑塑料管与底部垂直振子，进一步增强天线支撑强度，避免晃动。

天线的总装（见图9）

（1）分别将天线的两个 T 型电容帽组装好，底部的电容帽需要配合支撑塑料管一起组装；

（2）将组装好的线圈、可变电容器板，通过螺钉固定到天线杆上；

（3）将绝缘板上面的引出导线与天线的上下两臂连接好。这里一定注意，天线的上臂引出线的一端一定要用金属鳄鱼夹，在调试时跳线要用（不要焊接）；

（4）将一端打磨尖的天线固定铁管用脚踩入地下，再将组装好的天线套入地面固定用的金属管；

（5）连接好 M 插头，驻波比表、短波电台。注意：天线要远离周边的高大建筑物、金属物体、高压线等。

天线的调试

（1）首先要了解，电台通过 M 座输出端的线圈连接点一般在 2~3 圈。这里也可不焊接。必要时用跳线的形式(通过鳄鱼夹连接)，此跳线是调整天线阻抗用的。因为缩短天线一般阻抗都低于 50Ω，需要的时候进行必要的调整。

（2）发射机先用 10W 的功率 CW 模式输出，从 40m 开始，分别调整电感到天线间的跳线位置（此电感才是缩短线圈），再配合调整电容使得驻波比最小。

（3）各个波段都调整完成之后，记下每个波段阻抗匹配的位置，再记下每个波段缩短加载线圈的抽头位置和可变电容的大致位置，方便以后每个波段的调整和快速切换。

（4）用 100W 功率在各波段再调谐一次。

（5）如果天线的高、低端，个别的频率调整不下来，可以适当增加、减少谐振线圈的匝数（短路即可，不要剪掉），配合电容进行再调整。

注意

为了安全，调整时不要发射，发射时不要调整。检查测量驻波、天线谐振情况时，人员要尽量远离天线，避免产生感应现象影响调试的准确性。如果有天线分析仪更好。

祝愿大家5.5节快乐，DIY成功！

天线制作十二款之六

不用天调的多波段温顿天线

◎刘燕北（BD2BH）

什么是温顿天线

温顿天线是由温顿在20世纪60年代发明的一种偏中心馈电的偶极天线，常见的温顿天线总长度一般设计为最低工作频率的1/2波长（142.6/*f*）。与普通中心馈电的1/2波长偶极天线相比，其馈电端点距离天线一端约1/3处，如80m波段温顿天线的基本尺寸由13.8m和27.7m两部分组成。天线通过50Ω同轴电缆，经4:1（或6:1）巴伦转换、阻抗匹配，然后接入天线主体。除了15m波段外，天线可以自然谐振于80m、40m、20m、10m4个波段。如果要使用天调，在30m、15m、6m也可以很好地工作。

与我们熟知的普通偶极天线相比，温顿天线的主要技术特性为偏中心馈电。利用基本谐振频率的奇次谐波，使一根天线可以较好地工作于多个频率，因此温顿天线是一种简捷、高效、易于自制的多波段天线，不仅可以做基地台天线使用，同样也适用于户外活动。

80m/40m/20m/10m 四波段温顿天线的基本结构，见图1。

通过软件模拟分析，我们可以看出温顿天线有较好的辐射仰角和方向性，很多人使用一根简单的温顿天线在比赛和DX通信实践中都取得了好的成绩。

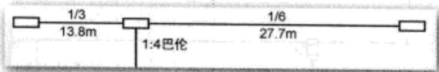


图1 基本结构

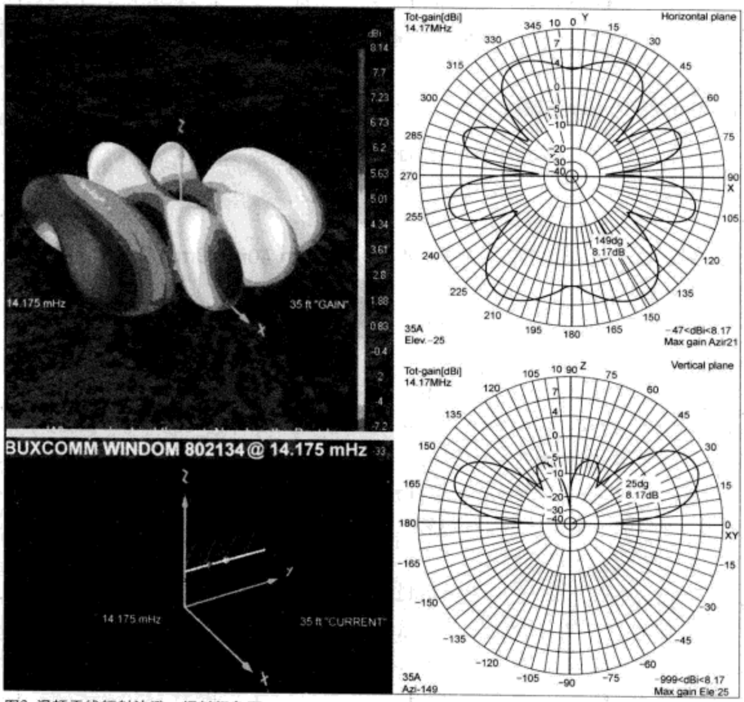


图2 温顿天线辐射波瓣、辐射仰角图

温顿天线辐射波瓣、辐射仰角图见图2。

温顿天线的改进与发展

由于上述种种客观需求，近年来应用古老温顿天线的爱好者有逐渐增多的趋势。为了迎合那些一根天线走天下，而绝不愿意使用天调的爱好者，本文简要介绍一下温顿天线的近年来的发展和具体应用方面的一些基本信息。

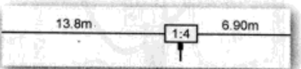


图3 三波段版本

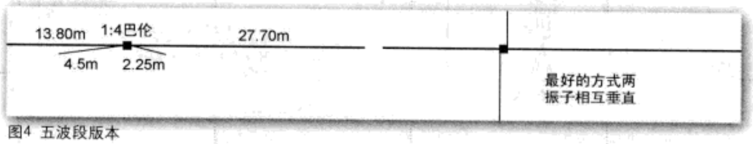


图4 五波段版本

温顿天线经过无数人多年的不断努力，以发展处决了多个版本。无论天线怎么变化，两臂“扬长避短”，但是天线基本谐振长度为最低工作频率的1/2波长的理念并没有改变。其中，最主要的还是较好地解决了天线不能在15m工作的问题，另外就是在减少天线的物理尺寸方面，进行了一些大胆的尝试。

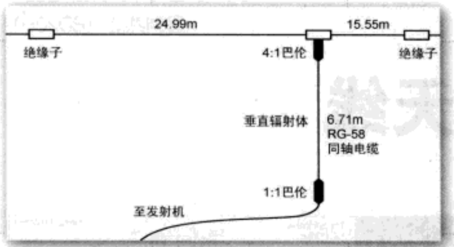


图5 新型五波段温顿天线

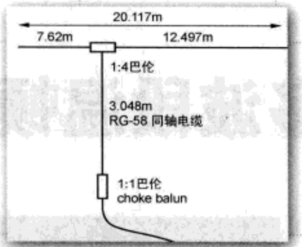


图6 新型四波段温顿天线

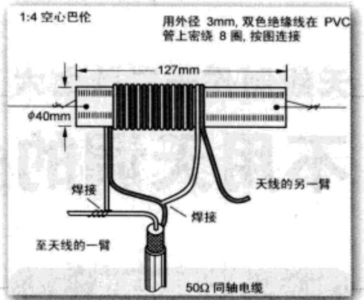


图7 1:4空芯巴伦

1. 40m /20m /10m三波段版本

40m/20m/10m 版本为80～10m版本的一半尺寸，见图3，适合于那些天线架设场地不充裕、不喜欢长天线、低波段传播条件的爱好者。天线的匹配仍然是1:4巴伦。

我们可以看到，虽然图1和图3的两副天线覆盖频率范围的侧重点不同，但是都不可能回避15m波段不谐振的问题。因为温顿天线两臂并不对称，要想天线自然覆盖我们常用的80～10m的各个波段，特别是兼顾15m波段，并且甩掉天调,并不是很容易的事情，爱好者为此探索了很多年。

下面就重点介绍一下温顿天线频率的拓展问题,主要原则是不破坏原来天线的基本结构和多波段自然谐振的主要特征。另外，尽量做到简洁易行，方便用户对原来天线进行改造和新架设天线爱好者的制作。目前比较好的方式有两种：一是在原来温顿天线的基础上再并联一对不对称天线振子，增加15m频段频率的覆盖；二是在馈线到4:1巴伦相隔一定距离间再增设一个1:1电流型陷波器（巴伦），让这部分馈线也成为天线的辐射体，由此解决15m谐振困难的问题。

2. 80m/40m/20m/15m/10m五波段版本

在80m/40m/20m/10m版温顿天线的基础上，图4所示天线并联了一副4.5m＋2.25m的天线振子，解决了缺少15m波段天线的问题。天线仍需1:4巴伦匹配，增加的一对振子要距离主振子（平行）10cm以上，最好的方式是与主振子相互垂直，以避免天线相互牵扯，干扰频率的正常谐振。

80～10m五波段新型温顿天线的实作

图5为80～10m 五波段新型温顿天线结构示意图。

图6为40～10m 四波段新型温顿天线结构示意图。

1. 1:4空芯巴伦制作

下面介绍制作的1:4空芯巴伦是用双导线（最好两种颜色分开）在PVC管上绕制的。其主要优点是不受磁环导磁率和磁饱和现象的影响，承受功率基本上就是导线的通过功率，同时具有制作简单，效率高的特点。制作好的巴伦要注意焊接点的可靠性和户外应用电缆等防水的要求，必要的时候可以用热缩管进行封装。详细制作数据见图 7 。

2. 1:1空芯巴伦制作

水平天线都离不开巴伦，但这里的1:1巴伦的主要作用与一般水平天线不同，为高频陷波器共用。由于它的存在，巴伦至1:4巴伦间的垂直馈线成为天线谐振的一部分，因而较好地解决了15m波段的频率覆盖问题。具体制作数据见图8。

图中的SO239插头、座不是必须的。天线到电台之间完全可以用一根馈线（包括1:1巴伦）来制作完成。使用插头座的优点是，可以使用更粗、损耗更小的电缆连接天馈线。RG-58电缆可以用RG-213等同规格的馈线代替。馈线和巴伦可以承受400W射频功率。

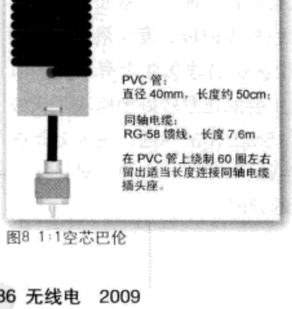


图8 1:1空芯巴伦

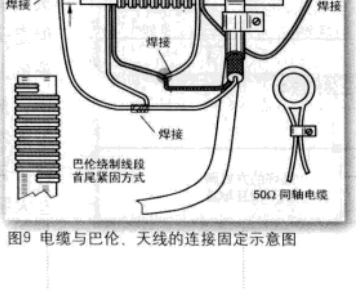


图9 电缆与巴伦、天线的连接固定示意图

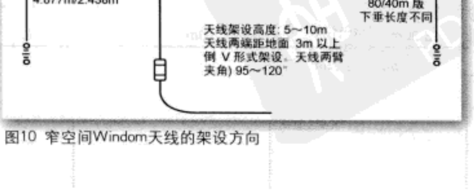


图10 窄空间Windom天线的架设方向

江苏省业余无线电应急通信演练成功举办

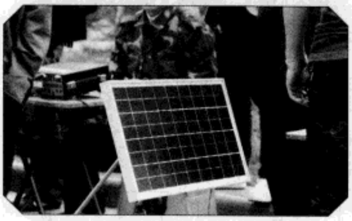
◎陈方（BA4RC）

5月2日，江苏省首届业余无线电应急通信演练如期在全省各地展开。

这次演练，由江苏省无线电和定向运动协会作为主控，演练过程中，江苏省内各地无协和爱好者积极响应，取得良好的演练效果。此次演练采用了诸多现代通信的先进元素，展示了业余无线电发展的技术亮点。

一、APRS的应用

APRS是业余无线电自动位置报告系统的简称。在演练现场的电子地图上，20多个电台呼号出现在江苏各地，移动台的行动轨迹、方向、速度、高度都能一目了然。



常熟采用了多种应急电源

二、Echolink的应用

Echolink是爱好者们创造的一种新颖的远程无线电联络方式。5月2日，国际电信联盟的代表正是通过Echolink监听此次演练、了解我国业余无线电应急通信的发展和水平的。

三、业余卫星通信的应用

世界各国发射的业余无线电通信卫星总数不下30颗，现在能用的有20多颗。江苏省爱好者中已经有不少人尝试了包括国际空间站在内的空间通信，并将它用于应急通信演练。

四、业余无线电数据通信的应用

业余无线电数据通信的方式是多种多样的，此次演练中用得最多的是“PSK31”方式，这种由国外爱好者创造的模式抗干扰能力比较强，人耳听不清的信号它却仍可以分辨。

江苏南通主控

全省演练活动的中心

在此次演练中，这些先进手段与传统方式相结合，推动了我国业余无线电应急演练水平向更高层次发展。

江苏省首次业余无线电应急通信演练取得了巨大成功，它将推动了业余无线电活动从个人兴趣爱好更好地融入促进社会和谐发展的大事业，也将为社会应急救援工作各有关部门提供有益的信息和积极的支持。

3. 天线的组装（见图9）

确定好天线的版本之后，就是天线的组装。首先是1:4巴伦与天线的安装。按制作好的巴伦，两端线段需在PVC管上打孔固定，既防止线圈松动，又可以起到美观实用的作用。巴伦每边需要预留3cm，钻孔连接天线振子。某次，根据不同颜色，巴伦与天线的接线一定不能出错，并严格检查各接点的电气连接情况，保证无误。

4. 天线的架设（见图10）

天线架设方式以水平架设为最好，高度在5～10m，超过10m天线需要用1:6规格巴伦。如果条件有限，倒V型架设方式也是可以的，天线两臂夹角须大于95°～120°以上。

对于空间有限的爱好者，也可人为地将两端向下折，天线形成一个倒“U”型。80m版，每臂向下折4.877m，40m版本每臂向下折2.438m。注意下垂的部分也要进行固定，不能任其随风飘动，同时为了使天线获得更好的效果和人畜的安全，无论采用哪种天线架设方式，两端距离地面必须大于3m。

5. 天线的调试、修剪

天线架设完成之后，连接好电台、功率驻波比表（或天线分析仪）就可以进行天线的调试了。因为选用天线导体粗细、架设高度、环境不同，甚至巴伦电感的差异等，都会影响天线谐振频率，天线的谐振长度与理论数据肯定会出现一定的偏差，因此我们需要对架设好的天线进行必要的修剪。

修剪方法：由于温顿天线两臂长短之比基本为2:1，因此天线调整时须按2:1的比例同时修剪。注意：调试天线不是用剪刀修剪天线振子长短，而是根据谐振频率，调整天线的长度。天线无论是有绝缘层的导线，还是裸线，只需将天线两端振子折返回来，根据需要增减这部分的长度，并捆扎好即可。

温顿天线属于单线多波段谐振天线，调试要保持一个正常心态，不要追求每个波段均为1:1的驻波比的效果，这也是不可能的事情。一般情况下，兼顾各个波段，天线驻波在1.3～1.6，甚至1.8以下就可以了。如果15m谐振不好，可以适当增减2个巴伦间电缆的长度。

实用的电池内阻测试仪

◎吴汉清

对于干电池和充电电池，人们常用万用表判断其好坏，最基本的方法就是测量电压，根据电压高低对电池的好坏作出判断。其实这种方法并不十分科学，电压正常不等于电池就是好的，还要看它有没有供电能力，这就涉及电池的另一个重要指标——内阻，我们常常看到有经验的人用万用表的大电流挡直接接在电池的两端，测量电池短路电流，这样可大概估计一下电池内阻的大小，由于万用表的电流挡本身就有一定的电阻，所以很难准确测出电池的内阻到底有多大，往往只能用来对几节电池内阻的大小作出比较。另外，这样的测量对电池也有损害。

要精确测量电池的内阻，必需使用专业的电池内阻测试仪，但专业的电池内阻测试仪价格至少也要数百元以上，业余条件下也没有必要持有。本文介绍的用ATmega8单片机做的电池内阻测试仪可以满足业余条件下的使用要求，可用来测量干电池、充电电池、手机电池的电压和内阻，修改一下电路和程序还可以用来测量电动自行车等使用的蓄电池电压和内阻。

一 功能特点

可测电池类型：干电池、充电电池、手机电池等

电池电压：0~5V

电池容量：0~10Ah

电阻：1mΩ~9.999Ω

电源：使用4节AA充电电池

安装好的测试仪实物见图1。

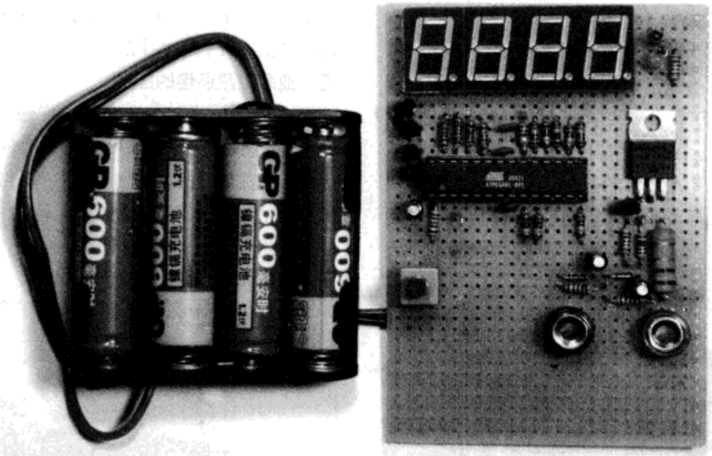


图1 安装好的电池内阻测试仪

二 硬件电路

1. 电池内阻测量的基本原理

本文介绍的电池内阻测试仪采用直流放电内阻测量法，可以通过图2说明其基本工作原理。

图中r是电池内阻，R是放电电阻，测量时先将开关S断开，测出电池的空载电压$U1$，再将开关S合上，让电池以比较大的电流短时间放电（放电电流大小取值可根据电池容量确定），再测量这时的电压$U2$。由此即可计算出电池的内阻：$r=(U1-U2)/(U2/R)=(U1-U2)R/U2$。

上述电路的测量数据必须经过人工计算才能得到结果，使用起来很不方便，如果开关S开启、两个电压值的测量、公式计算、测量结果、数据的显示都由单片机来自动完成，则测量就变得很轻松了。

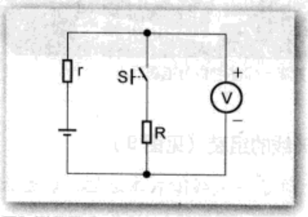


图2 测量原理

2. 单片机测量电路

由单片机电路、放电控制电路、显示电路等部分组成，电路见图3。

ATmega8、R1、C1等组成单片机电路，单片机使用内部RC振荡器提供时钟信号，时钟频率取8MHz。

电路利用ATmega8内部的模数转换器ADC测量电池电压。ATmega8提供6路逐次逼近型的ADC，其中ADC0～ADC3这4个通道提供10位的转换精度，ADC4、ADC5两个通道只提供8位的转换精度。这里利用ADC0测量电池电压。

ADC转换的参考电压选用芯片内部的2.56V参考电压，ADC0最大允许输入电压为2.56V，这里取最大输入电压为2.5V，因此要使用R6、R7组成的分压电路才能使用最大测量电压为5V。

输入电压经ADC转换的结果由ATmega8的PB口输出到4位数码显示，数码管采用动态扫描电路，ATmega8的PC1～PC4作动态扫描驱动输出。

场效应管VT2作放电控制电路的开关，当VT2导通时，被测量的电池通过电阻R5放电。VT2的工作状态受ATmega8的PD4脚的控制，当PD4输出高电平时VT1导通，VT2栅极电压为0，VT2截止；反之VT2栅极电压为9V，VT2导通。

看到这里大家要问：单片机的电源电压是5V，VT2的栅极的9V控制电压是从何而来的呢？答案是这样的：ATmega8的PD5脚产生5000Hz的脉冲信号输出到C2，通过VD3、VD4、C2、C3等组成的倍压整流电路整流后得到9V的直流电压。

根据程序设计的设置，电路的工作过程可简述如下：

在测试电池接入的前3s，VT2一直截止，这时数码管显示的是电池的开路电压，发光二极管VD1点亮，3s后VT2先导通1ms，再开始测量电池放电时的电压，待ADC转换结束后VT2截止，经单片机计算后数码管显示电池的内阻，发光二极管VD1熄灭，VD2点亮，内阻显示值在电池拿开后才消失。在整个测量过程中，电池放电的时间只有1ms多，减小了大电流对电池内部的电极产生的极化现象，以免极化内阻影响测量结果，同时避免长时间大电流对电池内部电极产生的损伤。

由于这个内阻测试仪测量的都是小容量的电池，内阻相对来说比较大，因此没有采用四端测试线。

三 软件设计

程序有主函数、ADC转换函数、T/C0中断函数、数值处理函数、显示函数和延时函数等部分组成。

主函数主要用来作初始化和产生5000Hz脉冲信号，5000Hz脉冲信号作9V倍压整流电路的交流输入电压。

ADC转换函数用来对ADC0输入的电池电压进行ADC转换，转换结果可表示为：$ADC=(V_{IN}\times1024)/V_{REF}$，其中$V_{IN}$表示电池电压，$V_{REF}$表示参考电源电压。由公式可知：当输入电压和参考电源电压相等时结果为1024，但由于ADC数据寄存器为10位二进制寄存器，能表示的最大值为1023，因此实际转换的结果为1023，即使输入电压大于参考电源电压，其结果仍然为1023，故输入电压必须不大于参考电源电压。在本文中选择内部2.56V作为参考电源电压，最大输入电压可达2.56V，因此这里输入电压确定为0～2.5V，当输入电压为2.5V时，ADC转换结果正好为1000，为了在数码管上显示2500（单位为mV），必须将结果乘以2.5送数码管显示。为了能将最高测量值提高到5V，电路中加了一个分压比为2的分压电路，因此要将结果

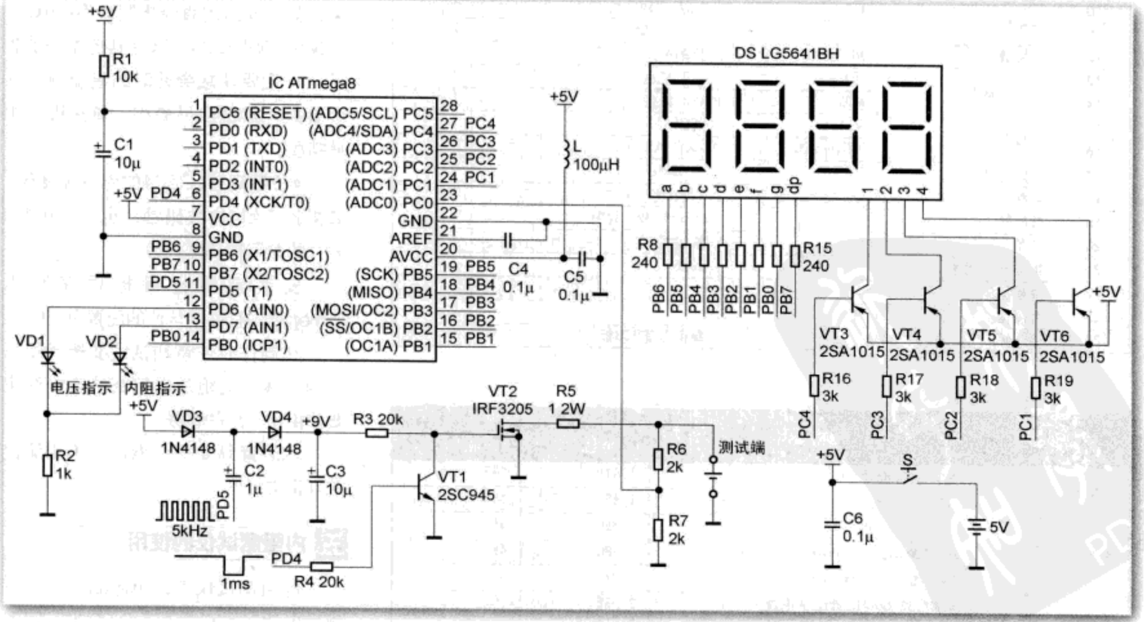


图3 测量电路

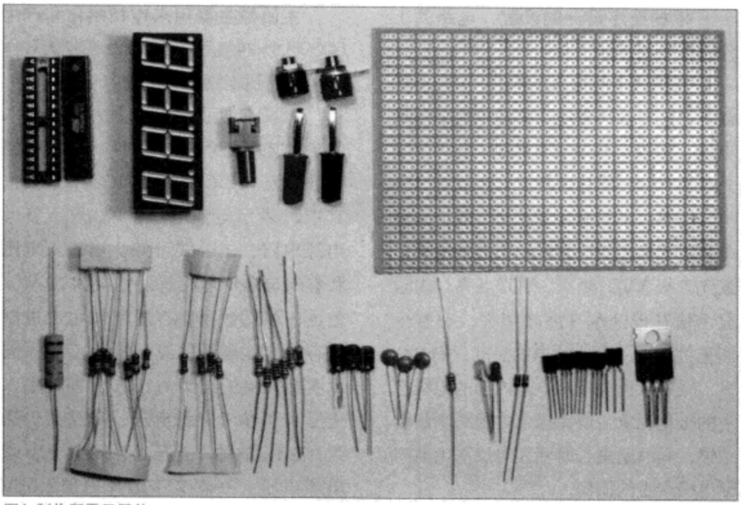


图4 制作所需元器件

表1

序号	元件名称	位号	型号规格	数量
1	单片机	IC	ATmega8	1
2	电阻	R8～R15	金属膜 1/8W 240Ω	8
3		R2	金属膜 1/8W 1kΩ	1
4		R6、R7	金属膜 1/8W 2kΩ	2
5		R16～R19	金属膜 1/8W 3kΩ	4
6		R1	金属膜 1/8W 10kΩ	1
7		R3、R4	金属膜 1/8W 20kΩ	2
8		R5	金属膜 2W 1Ω	1
9	电容	C4～C6	瓷片 0.1μF	3
10	电解电容	C2	1μF/16V	1
11		C1、C3	10μF/16V	2
12	二极管	VD3、VD4	1N4148	2
13	发光二极管	VD1	φ3 红色	1
14		VD2	φ3 绿色	1
15	三极管	VT1	2SC945	1
16		VT3～VT6	2SA1015	4
17	场效应管	VT2	IRF3205	1
18	电感	L	100μH	1
19	数码管	DS	LG564 1BH 共阳	1
20	开关	S	按键式	1
21	集成电路插座		28脚	1
22	香蕉插座			2
23	香蕉插头			2
24	电路板		单面万能PCB板	1

表2 几种常用电池的测量结果

电池名称	规格型号	测量结果	
		电压(V)	内阻(mΩ)
干电池	AAA碱性电池	1.615	285
	AA碱性电池	1.630	187
充电电池	AAA镍氢电池	1.390	65
	AA镍氢电池1600mAh	1.380	41
	AA镍镉电池 600mAh	1.375	66
手机电池	3.7V 3300mAh 锂离子电池	3.975	152
	3.7V 1020mAh 锂离子电池	4.125	129

2.5乘以2再送显示，这样当电池电压为5V时数码管即显示5000。

T/C0中断函数主要用来作过程的控制、有关显示数值的计算、数码管的动态扫描进行控制。程序中语句temp=(unsigned long)(u1-u2)*1010/u2中的1010是放电电阻R5、IRF3205导通时的直流电阻（约8mΩ）、放电回路连接导线电阻的总和，单位为mΩ，放电电阻改变时只要改变这个参数即可。T/C0的中断时间为5ms，因此4位数码管的显示数据每20ms刷新一次。在第600次中断前，即电池接入的前3s，数码管显示的是电池的电压，中断第600次时测量电池加负载时的电压，经计算后数码管显示电池的内阻。

完整的源程序见本刊网站（*www.radio.com.cn*）。

四 元器件选择和安装

所用元器件的实物见图4。

元器件的型号规格和数量见表1。

表中场效应管IRF3205是一个比较关键的元件，其参数直接影响测量结果，其导通时的直流电阻只有8mΩ，如果没有IRF3205而选择其他型号的管子，一定要注意导通时的直流电阻这个参数，其值应尽量小，避免影响测量精度。

4位数码管LG564的引脚见图5，如果找不到4位数码管，也可以用4只分立的共阳数码管代替。

安装前要把目标程序写入ATmega8，有关熔丝位的配置见图6。

在制作时注意测试线要选择粗一点的导线，电阻放电回路的连接线也要使用粗一点的铜线。

本装置只要安装无误，不用调试即可正常工作。

五 内阻测试仪的使用

内阻测试仪接通电源后，在没有测量电池时数码管显示0.0000，同时

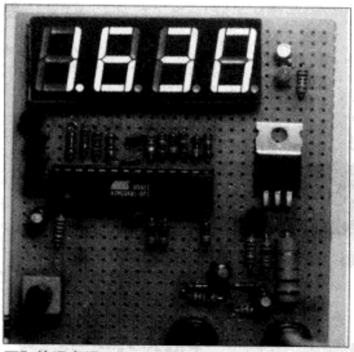


图7 接通电源

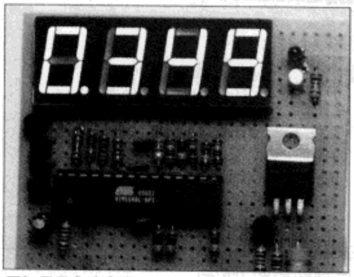


图8 显示电池内阻

旁边上面的红色发光管点亮。接上测量电池后前3s显示的是电池的电压，这时还是红色发光管点亮，见图7。3s过后显示电池的内阻，红色发光管熄灭，下面的绿色发光管点亮，见图8。松开电池后测试仪即恢复到初始状态，等待下一次的测试。

测量中我们会发现：测量电极和电池的接触压力大小对内阻的测量结果影响很大，对内阻小的电池更是如此，因此使用时要尽量压紧，必要时做一个专用的夹具。

六 对几种常用电池的测量结果

测量结果见表2，所测电池见图9。

几点说明：

1．充电电池和手机均在充足电后搁置1小时以上待电压稳定后测量；

2．干电池均使用新电池测量，充电电池和手机不全是新电池，参数仅

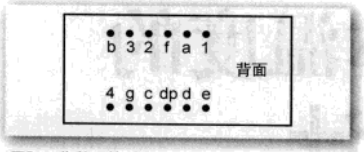


图5 四位数码管引脚

图6 熔丝位的配置

图9 测量用的电池

供参考。

如果要用本装置测量容量比较大的蓄电池，则必须根据蓄电池的容量和电压重新确定放电电阻的阻值和功率、分压电路的分压比，同时修改程序中相关的语句。在制作时也重新考虑电路装配的工艺结构，使用更粗的测量线，并采用四端测量线。

值得一提的是，直流放电内阻测量法虽然可避免蓄电池内部容抗、纹波电流和其他噪声源的干扰，测量精确度较高，理想状态下测量精度误差可以控制在0.1%以内，但是也有一些缺点，如：当电池通过大电流时，电池内部的电极会发生极化现象，产生极化内阻，时间一长会使测出的内阻值误差增大，故测量时间必须很短；大电流通过电池对电池内部的电极产生一定的损伤；测试仪校准比较困难。

七 交流压降内阻测量法

测量电池内阻除了直流放电内阻测量法外，还有交流压降内阻测量法，也叫交流测内阻，测出来的内阻俗称交流内阻。下面简单介绍一下：

1．测量原理

因为电池实际上等效于一个有源电阻，因此我们给电池通过一个固定频率的固定电流，然后对固定电流在电池上的交流压降进行采样，再经过整流、滤波等一系列处理后计算出该电池的内阻值。使用这种方法测电池的内阻，测量结果往往跟使用的频率也有一定的关系。目前这一类的测试仪一般使用1kHz频率，50mA测试电流。

交流压降内阻测量法的电池测量时间极短，一般在100ms左右，测量精度误差一般在1%～2%之间，所测量的值是毫欧级。

2．优点

(1) 使用这种测量法几乎可以测量所有的电池，容量也不受限制，包括小容量电池；

(2) 这种测量方式对被测电池几乎没有损伤；

(3) 测试仪校准比较方便。

3．缺点

(1) 测量精度很可能会受到纹波电流的影响，同时还有谐波电流干扰的可能，因此对测量仪器电路的抗干扰能力要求较高；

(2) 测量的精度没有直流放电内阻测量法高；

(3) 在某些场合必须对电池内阻进行在线监控，就无法采用交流压降测量法，这时只能采用直流放电内阻测量法。

可测量液体温度的数显温度计

◎刘作新

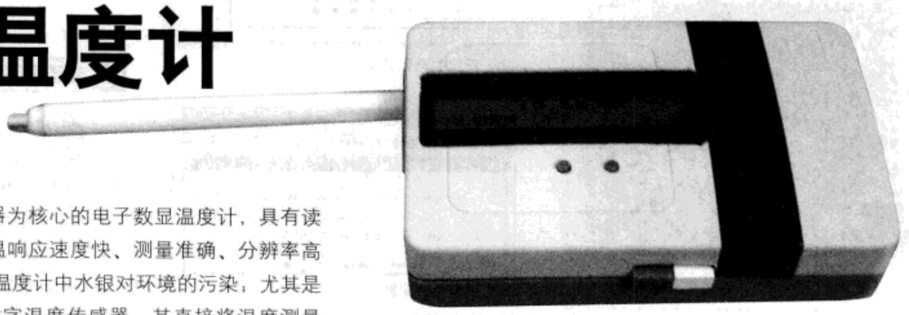


图1 数显温度计外观

以半导体温度传感器为核心的电子数显温度计，具有读数直观方便、测温响应速度快、测量准确、分辨率高的特点，也避免了传统温度计中水银对环境的污染，尤其是以DS18B20为代表的数字温度传感器，其直接将温度测量值转换为数字量输出，便于与单片机接口读取、显示测温数值。对于DS18B20的使用不少电子专业刊物已有介绍，但是大部分是在单片机实验板上进行的，或是作为温控系统中的一部分得到应用。这些应用都无法成为一个实用的数显温度计“产品”独立使用，并且功能单一，如只能测试正温度，没有温度报警功能，不能测试液体温度等。笔者在教学实践中设计制作了一款以DS18B20为核心的实用数显温度计，其实物照片如图1所示，本温度计有如下特点：

1. 体积小巧，大小为(长)120mm×(宽)76mm×(高)25mm，便于使用与携带。

2. 采用一块普通的手机锂电池供电，可以反复充电使用，降低了使用成本，并且锂电池不会污染环境，绿色环保。

3. 可以测试液体的温度，扩大了应用范围。

4. 温度测量范围宽，从-55℃～+125℃。

5. 具有温度上限报警功能，温度上限报警范围：0℃～100℃。

6. 测温准确度为±0.5℃（在-10℃～+85℃范围内），分辨率为0.0625℃。

一 硬件电路分析

数显温度计的电原理图如图2所示。

在原理图中单片机IC1 PIC16F84A完成以下5个任务：

1. 通过软件控制RA0端口电平按照“1-线”总线规范的时序去改变，通过“1-线”总线对数字温度传感器IC2 DS18B20发出复位、启动测温等指令，从而达到与数字温度传感器IC2通信的目的。

2. 将IC2送来的二进制测温值通过数制转换程序转换为

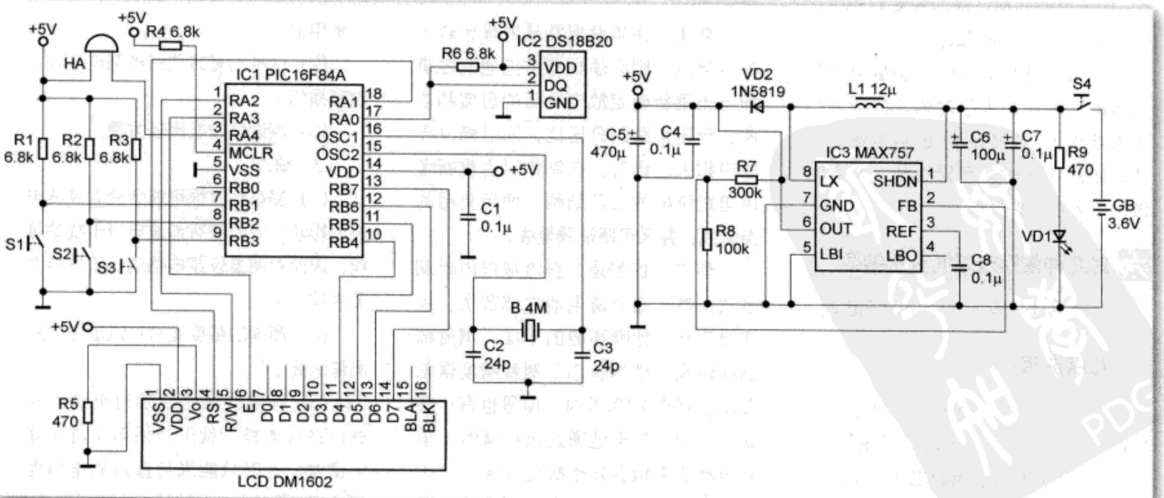


图2 电路原理图

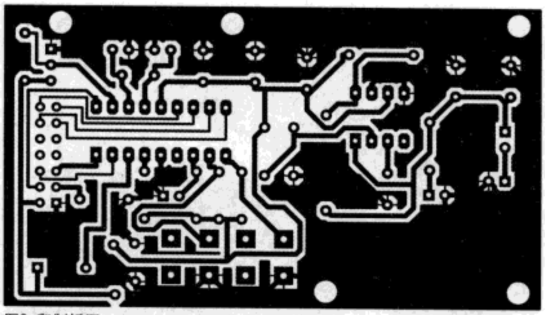


图3 印制板图

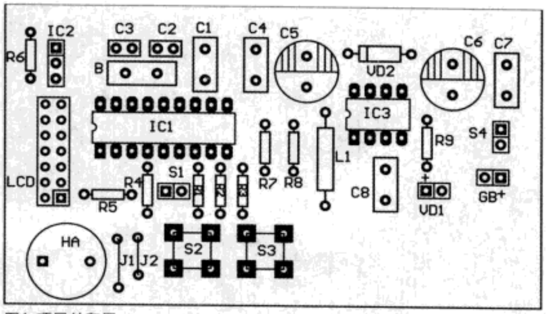


图4 顶层丝印层

十进制数，完成数制转换。

3. 对液晶显示屏LCD进行控制，实现测温值的数显。IC1的RA1至RA3端口对液晶显示屏LCD的读写进行控制，RB4至RB7端口将测温显示数据送到液晶显示屏的数据端口D4至D7端，实现温度值的数字显示；在这里液晶显示屏与单片机之间采用了4位接口模式，这样可以节约单片机有限的端口资源，显示屏不用的数据端口要悬空处理，否则会引起显示不正常。

4. 完成温度上限报警任务。IC1的RA4端为温度上限报警输出端，当IC1检测到测温值等于或超过温度上限报警设定值时，RA4端口以0.5s为间隔交替输出高低电平，蜂鸣器HA发出“嘀、嘀”的报警声。温度上限报警设定值存储在IC1内部的EEPROM存储器中。

5. 对温度上限报警开启/关闭控制开关S1、温度上限报警值设置开关S2与S3进行检测，以便执行相应的操作功能。

由于单片机IC1与液晶显示屏LCD只有供电电压为5V时，才能确保二者稳定的工作，为此，在电路中加入了由IC3 MAX757与外围元件构成的升压电路。通过升压电路，将锂电池的3.6V供电提升为IC1与液晶显示屏所需的5V供电。MAX757为美信公司出品的升压型DC-DC转换芯片，它在输入电压低至0.7V时仍然可以稳定工作，这样的特性很适合两节电池或锂电池供电的系统，因此笔者选用了此IC构成升压电路。MAX757的技术文档可从美信公司的网站（*www.maxim-ic.com.cn*）上下载。MAX757的输出电压由电阻R7、R8的分压比决定，计算公式为U_o=1.25V×［（$R7$+$R8$）÷$R8$］，公式中电阻的单位均为kΩ。笔者对此升压电路进行过测试，当输入电压在2～4.5V之间变化时，负载为本数显温度计时，用指针式万用表监测电容C5两端的电压，观测不到5V电压的改变，这证明MAX757的升压调整特性还是很不错的。

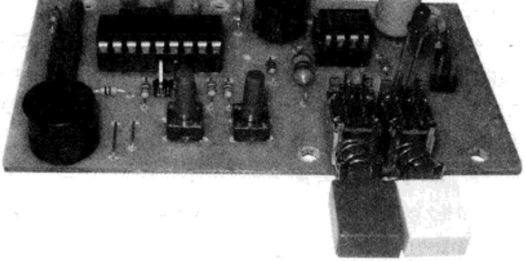


图5 安装好的电路板

二 软件编程

软件在MPLAB IDE集成开发环境中用汇编语言编写。包括“1-线”总线通信子程序、LCD控制与显示子程序、二-十进制转换子程序、开关检测子程序、温度上限报警子程序、单片机内部EEPROM读写子程序、延时子程序等。

由于温度上限报警设定值保存在单片机IC1内部的EEPROM存储器中，所以当S2或S3接通时，要通过EEPROM读写子程序改变存储在EEPROM内的温度上限报警设定值。在对EEPROM写数据的时候，每写完一次数据，一定要对单片机IC1的EECON1寄存器的WR位进行软件查询是否为0，为0的话证明一次写操作完成，之后才能进行下一次的写操作或执行其他任务，否则数据无法写入EEPROM。在对单片机编程烧写的时候，初始化的温度上限报警值设定为25℃，初始化工作在程序中通过下面的两条伪指令完成：

```
ORG  2100H    ;对编程器而言EEPROM的起始地址为2100H
DE   .25      ;向EEPROM的00H单元写入十进制数25
```

三 制作与使用

为了便于读者自制本数显温度计，笔者为其设计了PCB，如图3所示。此PCB为单面布线，方便读者用热转印法制作电路板，PCB的顶层丝印层见图4，读者可参照此图片进行组装，在图片上J1、J2为跳线，焊接完毕的电路板如图5所示。

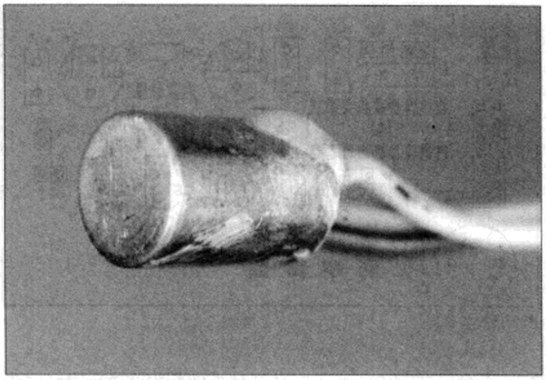


图6 防水、耐高温的测湿探头

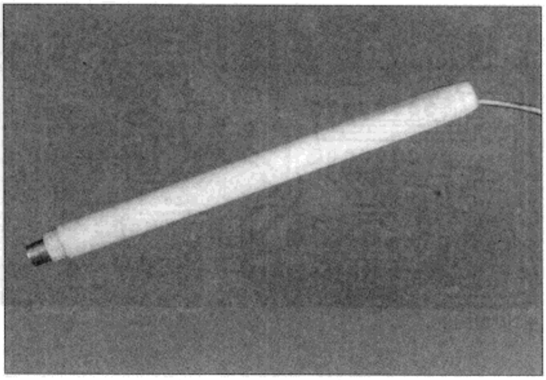


图7 固定探头的空心塑料杆

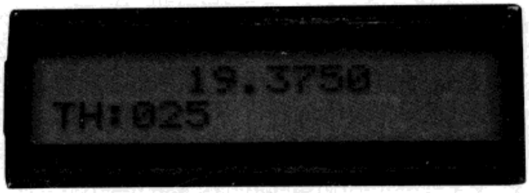


图8 实时测温

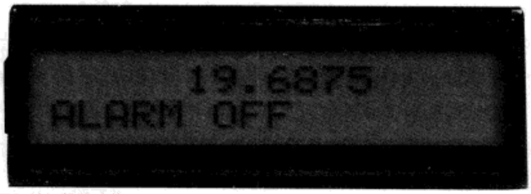


图9 关闭报警功能

1. 元器件的选取

在原理图中，IC1、IC3均选择DIP封装的，IC3 MAX757可在美信公司的网站上申请样片；IC2选择TO-92封装的；电阻选择1/8W小体积电阻；L1为色环电感，体积有1/2W电阻大小；LCD为1602型液晶显示屏，由于生产的厂家不同，对比度设置电阻R5可能要根据需要略作调整；蜂鸣器HA选择工作电压为5V的自发声型，要选用工作电流小于25mA的产品，这样可以用单片机的端口直接驱动；S1、S4为琴键式自锁开关，S2、S3为按钮开关；电池可以选用任何型号的手机锂电池，只要可以装入机壳就可以了。

2. 测温探头的制作

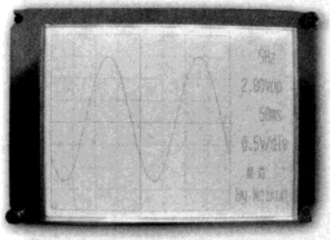
为了让数显温度计可以测试液体的温度，我们要给温度传感器IC2“穿上一件防水、耐高温的外衣”，这个“外衣”就是测温探头，其制作过程如下：取一个比IC2直径稍大的电解电容，去掉塑料外皮，将电解电容内部类似于纸制的电解芯取出，我们要用到的就是这个被掏了“芯”的铝壳。在铝壳内注入导热硅脂，硅脂的注入量达到铝壳的1/2高度处即可。这时将焊好引线的IC2放入铝壳，用环氧树脂胶封固铝壳的开口处，如图6所示。再将探头用环氧树脂胶固定到一个空心塑料杆上（笔者选用的是圆珠笔杆），引线从塑料杆的内心穿出，如图7所示。至此，测温探头制作完毕。

3. 使用简介

当接通电源开关S4后，蜂鸣器HA会响一声，这表明单片机内部程序运转正常。温度上限报警开启/关闭控制开关S1断开时，报警功能打开，液晶屏的第二行显示温度上限报警设定值（第一行显示的是实时测温值），如图8所示，当测温值等于或超过设定值时，蜂鸣器发出“嘀、嘀”的报警声，直至温度回落到上限报警值之内或接通（按下）S1才停止报警；当S1接通（按下）时，报警功能关闭，此时液晶屏的第二行显示“ALARM OFF”字样，如图9所示，表示报警功能关闭，蜂鸣器不发出报警声。S2、S3为温度上限报警值设置开关，每按动S2一次，设置值增加1℃，当设置值超过100℃时，设置值自动回到0℃；每按动S3一次，设置值降低1℃，当设置值要降到0℃以下时，设置值自动回到100℃；按住S2或S3不放时，设置值以1℃为步进值连续增加或降低；在操作S2、S3时，图8中第二行显示的温度设定值数字也随之改变。当测温值为0℃以下时，液晶屏第一行温度显示百位的地方会出现“-”号，表示负温度。数显温度计所使用的锂电池可用手机万能充电器进行充电。

数显温度计的源程序cewen.asm、编译好的烧写文件cewen.HEX以及PCB文件可到《无线电》杂志网站（*www.radio.com.cn*）下载，读者可以根据实际需要对源程序进行修改，添加更多的实用功能。

数字示波器DIY专题



本期专题为读者介绍一款迷你数字示波器，它采用3.8英寸液晶屏显示波形，加以改造即可做成便携式的示波表，它虽然身材小巧，但是功能不少，既是一个实用的测试工具，又是一套可扩展的实验板，通过它可以显示正弦波、三角波、方波等各种信号波形，测量频率、电压峰峰值等，还可以了解点阵液晶显示器的驱动方法，练习单片机和高速AD转换器的应用等，实乃电子爱好者工作、学习之良伴。

读者看到题目会是什么反应呢？“示波器也能DIY？”，是会被一大堆电路吓倒，一扭头就翻过去？还是会被液晶屏上闪动的波形所吸引而感到好奇？为什么不直接买一个而要DIY呢？这个由1块液晶屏再加5块电路板组成的“散包”数字示波器有什么用呢？

一件事的发生有其原因，有时我们清楚地知道，有时比较模糊，好的理由可以让我们坚持到底，获得成功。为此编者特意询问作者为什么要做数字示波器，然而得到的回答是“我不是为了做一个示波器”，想知道是怎么回事吗？接着往下看吧。

因有一只鞍而买一匹马

曾有一位贵妇人问电的发现者法拉弟：“电有什么用？”法拉弟反问道：“新生的婴儿有什么用呢？”

◎魏坤

九月，一个新学期的开始，课很少。

我是一个闲不住的人，这样的日子很难熬，想去电子市场逛逛，但学校离市区有三十多公里路，终于无聊到周末了。

和平常一样，逛电子市场都是这儿看看那儿看看，碰着没见过的还喜欢问问，多年的习惯改不掉的……

一家柜台上摆着“低价处理LCD模块”的牌子，对于像我这样的穷学生来说，价格往往是考虑的主要因素。我径直走了过去，老板说这些低价屏都是全新的，只是没有资料，所以只能低价处理，于是我就贪了个小便宜花30块钱买了一块128×64分辨率的点阵屏。喜欢贪小便宜的人最后往往都是要吃亏的，最后我真“吃亏”了，就因为这个屏，害得我花了近300块买了一块320×240的屏。

回到学校后就上网找它的资料，功夫不负有心人，我找着了。从资料中得知这块液晶显示器是不带字库的，这让我有些小失望，但一想只花了30块钱也就没事了。根据资料编写了程序让它显示了一些简单的图形，但让它显示图形或字符都得将所要显示的东西做成点阵数据存放在数组里才行，太浪费单片机里少得可怜的资源了！没有字库的点阵屏就是鸡肋！

正徘徊在“食之无味，弃之可惜”的时候，突然灵光一现，何不用它来显示一些实时的图形呢？显示什么呀？亮着的示波器给了我灵感，那就让它显示波形吧！正好我用的AVR单片机带有AD转换器，说干就干，忙活了一下午，晚上的时候波形就显示出来了。这不就是一个最基本的数字示波器吗？图1和图2就是当时的“珍贵照片”，因为那块电路在以后的试验中已经被我拆了。这两张照片是我买了LCD屏的第二天晚上照的。

第一步的成功，坚定了我做数字示波器的信念。人总是有追求的，所以我要完善它！其实这无异于“因有一只鞍而买一匹马”，但那并不总是坏的。

接下来的一个星期中我有事做了……

第二个周末，我拿出了我半个月的生活费，花三百多块买了一块320×240的液晶显示屏和两片TLC5510，开始了我自制数字示波器的征程。

以前从没有想过要制作一台数字示波器，所以对数字示波器的了解也仅停留在基本原理和功能上，更深入的东西几乎是一片空白。但是我相信电类的知识，只要你下功夫就没有学不来的，于是我开始到处找资料，但不管是图书馆还是互联网，几乎找不着一个现成的电路或实例可供

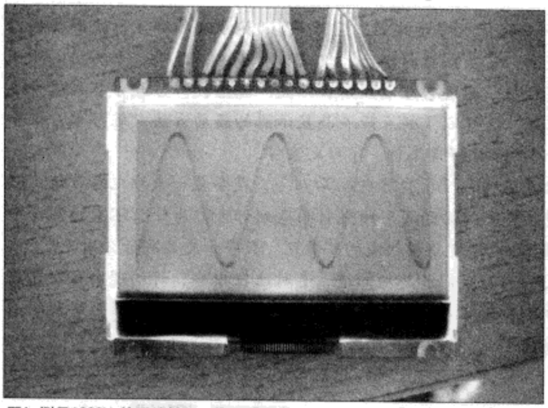


图1 测量1000Hz的正弦波

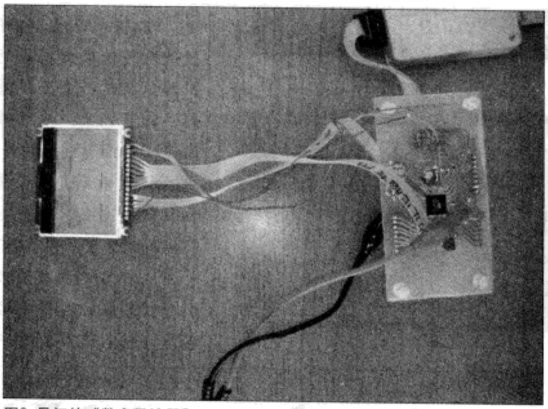


图2 最初的“数字示波器”

参考，这种情况下只能自力更生，按自己的理解画出框图，一步一步地实验。

刚开始时因为用的是AVR单片机中的ADC，最快的转换速率为40kHz（不要求达到10位精度），所以勉强能测到两三千赫兹，这样的性能我当然不满意！于是就用外置的高速ADC，这时TLC5510就派上用场了，它的最高转换速率为20MS/s，为了达到高速采样我给它提供20MHz的时钟信号，8位并行数据直接送入单片机，问题出来了，单片机太慢了，来不及读数据。通过查阅资料我了解到对高速数据的缓冲可以使用FIFO存储器（first in first out，先进先出存储器），这是我第一次接触FIFO存储器。第三个周末，我花了40块钱买了一片4KB容量的FIFO存储器IDT7204，直到现在这个示波器还是用的这片存储器。FIFO的使用解决了单片机来不及读数据的问题，但剩下问题还有很多：如何控制扫速、如何控制灵敏度、如何控制触发……

太多的“如何”让我好几个晚上不知如何睡好觉，但也正是这些“如何”给了我解决掉这些“如何”的动力……我喜欢挑战自己。换方案，试验，调试，再换方案，再实验，再调试……最终一个个“如何”被我解决掉了，兴奋又使我好几个晚上不知如何入眠。这就跟一个国家的内战一样，不管谁输谁赢受伤的总是这个国家，但却推动了历史的进步。我就是在发现问题和解决问题中进步的，虽然受了点伤……试验期间我得到了《无线电》杂志社尹飞编辑的鼎立帮助，非常感谢他在精神以及物质上对我的支持！

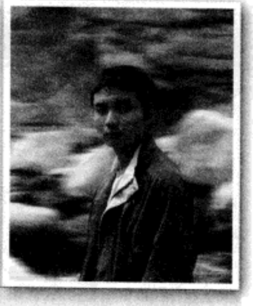
最终我将这个数字示波器做出来了，也实现了我起初的要求，能较好地测量到5MHz，这样的性能与专业的示波器相比也许差了些，但用于音频电路和一般的电子制作调试中，性能还是能够满足要求的，不足500元的成本我觉得是很实用的，特别是对像我这样的穷学生电子爱好者。

谁对自制数字示波器有兴趣？

想体验一下兴奋到失眠的感觉？

跟我来吧，我们一同体验这种兴奋的感觉！

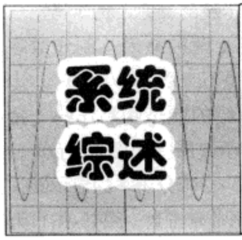
作者简介



我叫魏坤，一名在校大学生，平时没太多的业余爱好，就是喜欢玩儿电。小学四年级拥有第一把烙铁，五年级拥有第一块万用表……

同学问我怎么能将一个爱好坚持十年？我回答：我十年前就知道电机为何会转，但现在仍觉得很神奇！不管是放大器、发射机、无线话筒都做过，甚至电子管都玩儿过，上了大学学了单片机更是如鱼得水，51/AVR虽不是高手但也略懂，最近正在玩儿ARM、FPGA，感觉学新东西真的很过瘾。

这个数字示波器是我在本学期利用业余时间做的，水平有限。希望能与广大爱好者一同探讨学习，有兴趣的朋友可以和我联系：kunnnsd@126.com。



做个数字示波器难吗?

◎魏坤

随着电子技术的发展和电路结构的变化，对电路测量的要求也变得更高，在电子制作中会发现对很多参数的测量已不是一块万用表所能胜任的了，比如单片机某I/O口的输出波形或制作放大器测其频率响应等等，所以示波器自然而然地和万用表一样变成了电子工程师和爱好者的必备工具。然而示波器动辄几千上万甚至数万元的价格不是每个人都能接受的，如果你是一名电子爱好者或者和我一样是一名电子专业的大学生，何不发挥自己的聪明才智自己制作一台够用的示波器，不仅省钱，更可以享受DIY带来的独特乐趣!

下面就示波器的基本原理简要介绍一下，再就数字示波器与模拟示波器做一个简要的比较。

物理学理论可以证明，一端通过细绳固定的重物在作摆动时，与中心垂线的距离满足正弦波规律。沙漏实验可以清晰地显示这个随时间变化的波形：用沙漏充当重物，并且在沙漏底下的桌面上平铺一张纸，当沙漏开始摆动时，让纸匀速移动。这样，沙漏中流出的细沙，就在纸上留下了一个正弦波痕迹，如图1所示。利用这种设计思想，可以完成波形在平面上（对应于时间的流动）的展开。这种设计思想在波形记录、显示中被广泛采用，比如心电图机，就是用原地摆动的电热针，在匀速移动的记录纸带上描记出心电波形。

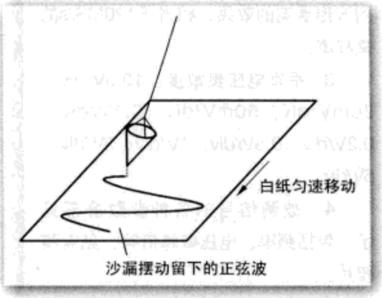


图1 沙漏摆动留下的正弦波

利用心电图机的结构，虽可以记录电压信号，但是，示波器在大量的应用中，并不需要通过消耗纸张来记录波形，而仅仅是观察波形。因此，可以重复使用的CRT示波管被应用到示波器的设计中。模拟示波器把需观测的两个电信号加至示波管的X、Y 通道以控制电子束的偏移，从而获得荧光屏上关于这两个电信号关系的显示波形。这种模拟示波器体积大、重量重、成本高、价格贵，并且不太适合用于对非周期的、单次信号的测量。数字示波器首先对模拟信号进行高速采样获得相应的数字数据并存储。用数字信号处理技术对采样得到的数字信号进行相关处理与运算，从而获得所需的各种信号参数。根据得到的信号参数绘制信号波形，并可对被测信号进行实时的、瞬态的分析，以方便使用者了解信号质量，快速准确地进行故障的诊断。测量开始时，操作者可通过操作界面选定测量类型、测量参数及测量范围（可选自动设置，由仪器自动设置最佳范围），微处理器自动将测量设置解释到采样电路，并启动数据采集，采集完成后，由微处理器对采样数据按测量设置进行处理，提取所需要的测量参数，并将结果送显示部件。

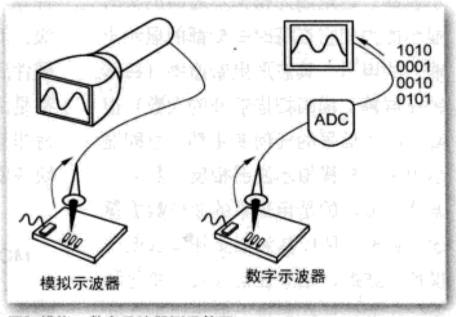


图2 模拟、数字示波器测量简图

使用模拟示波器和数字示波器通常都能很好地观察简单重复性信号。但是两者都有其优点和局限性，如图2所示。对于模拟示波器来说，由于CRT的余辉时间很短，因而难于显示频率很低的信号。由于示波管上的扫描轨迹亮度和扫描速度成反比，所以具有快速上升、下降时间的低重复速率信号就很难看到。而数字示波器的扫描轨迹亮度和扫描速度与信号重复速率无关，故可以很好地反映出来。对于显示具有较高重复速率的重复性信号的快速上升、下降沿来说，数字存储示波器和模拟示波器的性

能几乎没有什么区别，用两种示波器都能很好地观察信号波形。当要进行信号参量的测量时，数字存储示波器的优点在于具有自动测量各种参数的能力。而使用模拟示波器时，则必须自己设置光标、分析理解显示的波形才能得到测量的结果。但是如果要进行调整工作，那么一般最好使用模拟示波器。这是因为模拟示波器的实时显示能力使它在每时每刻都能显示出输入的电压。其波形更新速率（每秒钟在屏幕上描画扫描轨迹的次数）很高，所以信号的任何变化都会立即显示出来。与模拟示波器相反，数字示波器所显示的是用采集的波形数据重建的波形，所以其波形更新率远低于模拟示波器，结果在信号发生变化和变化了的信号在屏幕上显示出来之间就有了一定的时间延迟，这是数字示波器的重大缺点。

但是综合起来数字示波器还是有很大优势的。

自制示波器，做模拟示波器还是数字示波器？当然要做就做数字的！因为做数字示波器更简单，请往下看：

1. 模拟示波器需要与带宽相适应的CRT示波管，随着频率的提高，对CRT示波管的工艺要求严格，成本增加，存在技术瓶颈。所以在电子市场上不好买，性能好的大多数是进口品牌，其价格昂贵且需要处理的问题也多，比如要产生阳极高压、扫描锯齿波，还要对示波管进行电磁屏蔽等等，而且做出来体积很大，便携就更谈不上了。而数字示波器只需要与带宽相适应的高速A/D转换器，其他存储器和D/A转换器以及显示器都是较低速的部件，显示器可用LCD显示模块，在电子市场很容易买到，价格也不贵而且应用简单，只需考虑与微处理器的接口，体积小且功耗远小于CRT示波管。使用LCD显示模块做示波器，做成便携的很容易，做成示波表都没问题！当然LCD显示模块也有其不足之处，比如亮度和对比度不如CRT示波管，但综合考虑，LCD显示模块的优势还是比较明显的。

2. 模拟示波器是一个完全的硬件结构，做好之后很难进行功能升级，而数字示波器不同，在保证基本硬件后它的控制以及其他功能的实现都是由软件来实现的。这样升级就变得非常容易，你甚至可以把它当成一块开发板用来练习编程！做一个能当开发板用的示波器，你还犹豫吗？

基于以上两种原因，制作数字示波器当然是不二之选！

本文介绍的就是我制作的一台便携式数字示波器（如图3所示）。由于采用320×240分辨率的显示器，所以显示波形非常细致。图4～图11为该示波器测量不同频率信号时的实拍照片。

5Hz的信号用一般的模拟示波器测量，只能看到一个亮点在屏幕上游动，根本看不出完整的波形，而我做的这个示波器可以显示出完整的波形，在测量低频率信号时这是一个很

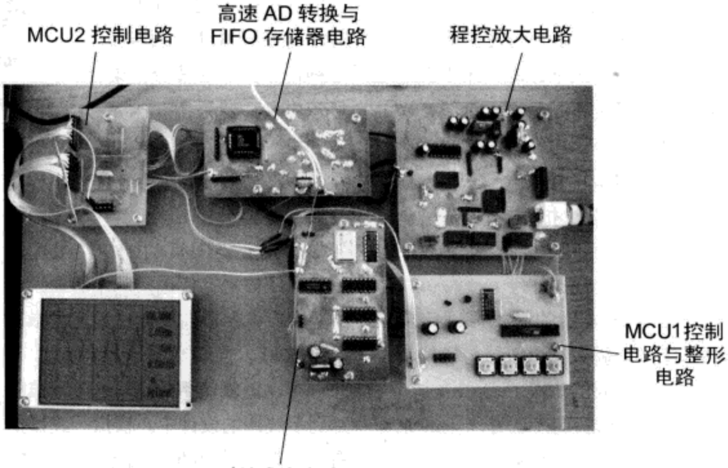


图3 整体照片

基本功能

1. 采样速率：600S/s、6kS/s、60kS/s、600kS/s、3MS/s、6MS/s、30MS/s、60MS/s。

2. 水平扫速：250 ns*、500ns、1μs、5μs、10μs、50μs、500μs、5ms、50ms。

（*注：250ns扫速挡的采样速率和500ns扫速挡一样是60MS/s，只是对采样到的数据进行线性插值处理，得到波形展宽的效果，相当于120MS/s的采样率。）

3. 垂直电压灵敏度：10mV/div，20mV/div，50mV/div，0.1V/div，0.2V/div，0.5V/div，1V/div，2V/div，5V/div。

4. 被测信号的各种参数屏幕显示，包括频率、电压峰峰值等，见实测照片。

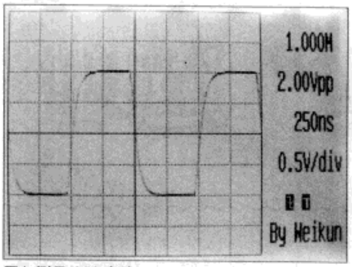


图4 测量1MHz方波

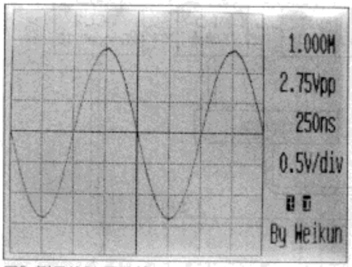


图5 测量1MHz正弦波

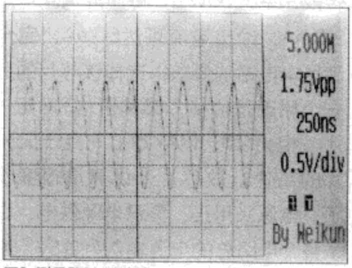


图6 测量5MHz正弦波

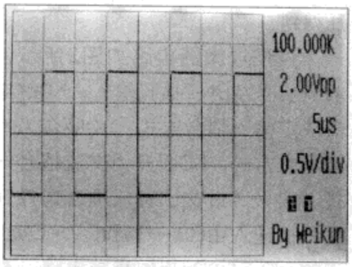


图7 测量100kHz方波

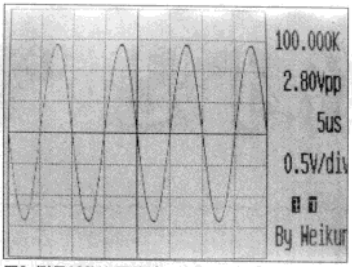


图8 测量100kHz正弦波

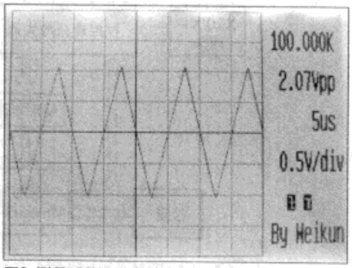


图9 测量100kHz三角波

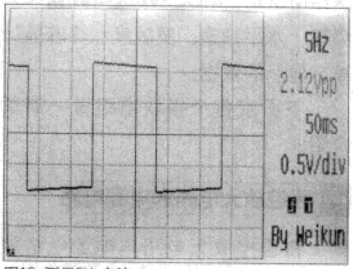


图10 测量5Hz方波

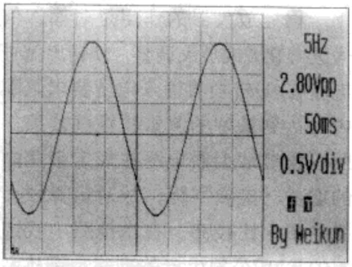


图11 测量5Hz正弦波

大的优势。

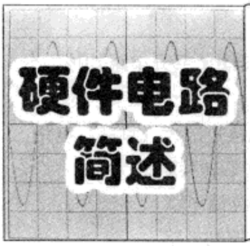
该示波器由6部分电路构成，分别是：

1. 输入程控放大（衰减）电路
2. 高速AD转换电路
3. FIFO存储电路
4. 显示控制电路
5. 时钟产生电路
6. 测频与控制电路

在这几部分中，最重要的是程控放大电路和AD转换电路，因为这两个电路是这个数字示波器的咽喉，程控放大电路决定了示波器的输入带宽和垂直分辨率，AD转换电路决定了示波器水平分辨率，这两个分辨率直接决定着示波器性能的优劣。这两部分电路将被测信号转换成后面的处理电路所需的数据信号，庆幸的是这几部分电路都可用高性能的集成电路加少量外围器件构成，电路设计简单，调试也很简单。整个示波器我觉得最难的应该是程序，也就是软件方面。软件承担着该示波器的所有数据处理和控制任务，包括AD采样控制、水平扫速控制、垂直灵敏度控制、显示处理、峰峰值测量、频率测量等任务。为了提高性能，这个示波器使用了两片单片机，分别用于显示和控制，所以程序的设计还要考虑两个单片机之间的通信问题，这些在文章的各章节都会有详细的描述和解释。

通过这个示波器的制作，你将会了解很多东西，比如如何用运算放大器设计组合放大电路、高速AD转换器的应用、FIFO存储器的应用、AVR单片机SPI总线接口协议以及高分辨率点阵液晶显示器的驱动等内容，这些内容对于别的电子设计也是非常有用的。

跟着我的文章走，你会发现制作一个数字示波器并不是很难！



电路才是“硬”道理

◎魏坤

通过我的“蛊惑”，想必大家都想自制一台示波器玩玩，那就继续跟着我走吧！

所有的电子设备都离不开硬件，首先让我来对它的硬件结构进行一下简述：

总体电路的系统框图见图1，前面已讲过，为了提高性能，本电路采用“双核”结构，两片AVR单片机协同工作，MCU1用于控制和频率测量，MCU2用于数据处理和显示控制，两片单片机采用SPI总线通信。

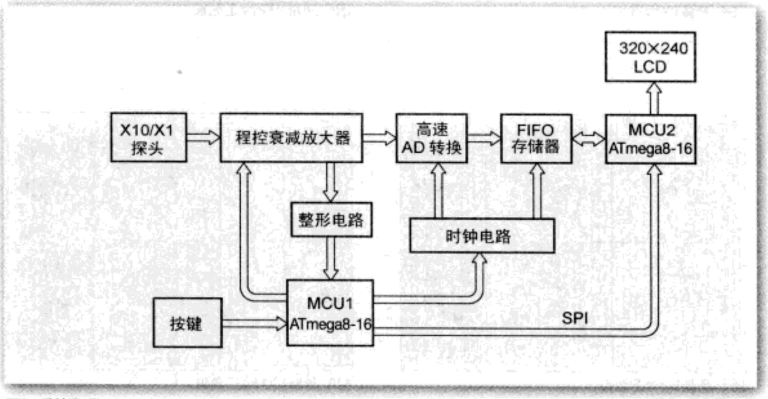


图1 系统框图

信号从探头输入，进入程控放大（衰减）电路进行放大（衰减），再对被放大（衰减）的信号进行电平调整后送入高速AD转换器对信号进行采样，采样所得的数据存入FIFO存储器中，当FIFO存满后通知MCU2，MCU2从FIFO存储器中读出数据进行处理，将波形显示在LCD模块上。时钟电路为高速AD转换器和FIFO存储器提供从600Hz～60MHz的8种不同的频率信号作为不同水平扫速时的采样时钟频率。从程控放大器输出的信号一路送入AD转换器，另一路送入整形电路对输入信号进行整形，作为测频率的待测信号送入MCU1的16位计数器外部触发引脚T1（PD5），进行频率测量，程控放大器的放大（衰减）倍数和时钟电路的输出频率均由MCU1控制。MCU1将被测信号的频率、程控放大器的放大倍数和时钟电路的输出频率等数据通过SPI总线发送给MCU2，MCU2以这些数据作为频率、水平扫速、灵敏度和峰峰值计算、显示的依据。

下面就各个模块电路做一简单介绍。

一 程控放大电路和电源电路

将程控放大电路与电源电路放在一起讲，是因为他们不仅有着密切的联系，而且还是做在一块电路板上的。

程控放大器的作用是对输入信号进行衰减或放大调整，使输出信号电压在AD转换器输入电压要求范围内，达到最好的测量与观察效果，所以程控放大器电路在规定带宽内的增益一定要平坦，故对运算放大器的要求比较高，在本电路中我选用的是NS公司生产的高速运算放大器LM6172双运放，带宽为100MHz，转换速率3000V/μs,每通道消耗电流2.3mA，输出电流可达50mA，完全满足本电路的要求，选择该芯片的另一个原因是价格，邮购价格为8元一片，相比ADI、MAX等公司几十元一片的高速运放芯片来说算是很廉价了，电源采用正、负双电源供电，由于整个电路总的电源输入为单8V，所以专门用一片DC/DC电路MC34063为其构成了负压转换器，再经稳压得到-5V电压，+5V通过对输入电压稳压得到。

程控放大器电路如图2所示，被测信号从BNC插孔输入，K0继电器决定输入耦合方式，K0吸合为直流耦合方式，K0断开为交流耦合方式。信号通过交、直流耦合选择开关后被送入由R3～R5和C2～C4组成的×0.5/×0.05的衰减电路，衰减倍数由K1控制，当K1未吸合时

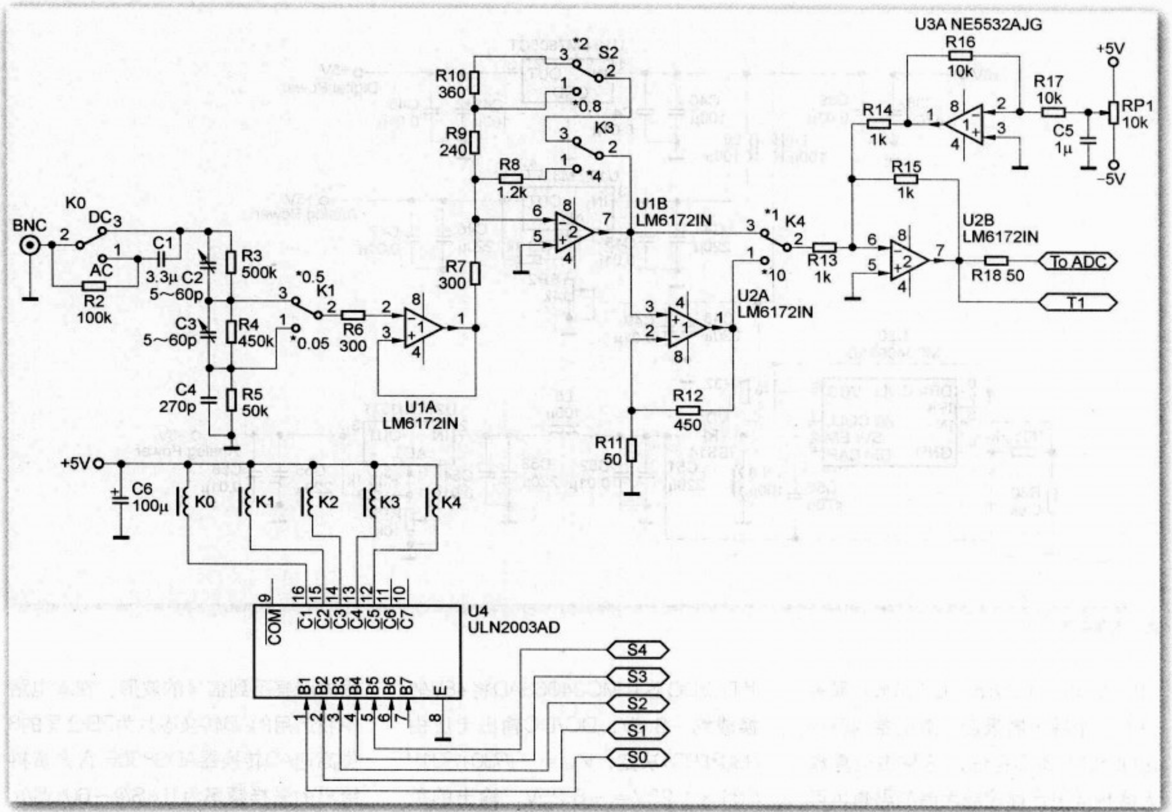


图2 程控放大器电路

接在“3”端，对应的衰减倍数为（$R4+R5$）/（$R3+R4+R5$）=0.5，当K1吸合时接在“1”端，对应的衰减倍数为$R5$/（$R3+R4+R5$）=0.05，C2、C3对高频信号进行补偿。经过衰减的信号进入由高速运算放大器U1A组成的缓冲器缓冲，然后被送入由U1B组成的×-0.8/×-2/×-4的反相放大电路，放大倍数由K2和K3控制，当K2、K3均未吸合时对应的放大倍数为$-(R9+R10)/R7=-2$，当K2吸合K3未吸合对应的放大倍数为$-R9/R7=-0.8$，当K3吸合则不用考虑K2的情况，但为降低功耗使K2断开，此时对应的放大倍数为$-R8/R7=-4$。输出信号又通过K4选择是否经由U2A组成的同相放大器放大，当K4未吸合，则不经过同相放大，当K4吸合，则信号被放大$(R11+R12)/R11=10$倍，最后信号被送入由U2B组成的放大倍数为-1倍的反相放大器来消掉由第一级反相放大器所带来的负号，与此同时U3A送来的反相基线电压由U2B反相后作为AD转换器的输入中点电压被叠加在被测信号上送入AD转换器，因为ADS830E的模拟输入电压范围是1.5~3.5V，输入中点电压为2.5V，所以基线电压应为2.5V。调节可变电位器RP1将调整基线电压的值，从而调整基线的位置。程控放大电路的放大倍数以及垂直电压灵敏度与K1~K4的关系见表1。

“L”代表继电器未吸合，“H”代表继电器吸合，确定继电器的常闭触点和常开触点很重要，因为继电器的吸合需要消耗一定电流，我选用的继电器型号为TO2-5V，吸合电流为15mA。在常用的3个灵敏度上

表1 程控放大电路的放大倍数

放大倍数	灵敏度	K1	K2	K3	K4
0.04	5V	H	H	L	L
0.1	2V	H	L	L	L
0.2	1V	H	L	H	L
0.4	0.5V	L	H	L	L
1	0.2V	L	L	L	L
2	0.1V	L	L	H	L
4	50mV	L	H	L	H
10	20mV	L	L	L	H
20	10mV	L	L	H	H

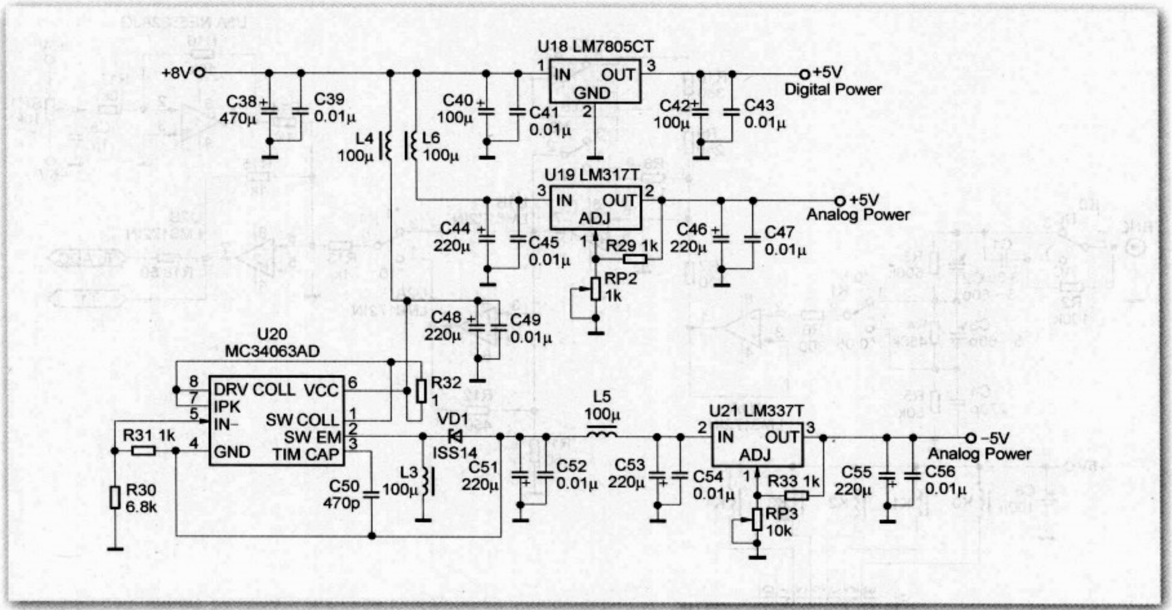


图3 电源电路

(0.5V/div, 0.2V/div, 0.1V/div) 最多只有一个继电器吸合，继电器的驱动由ULN2003AD担任。这种由运算放大器构成组合程控放大器的思想也可用于别的放大电路，平时多总结积累电路模型对提高电路设计能力非常有帮助，这个电路你记下了吗？

电源电路为整个示波器提供能源，作用非常重要！电路如图3所示。

该示波器电路中供电分为数字和模拟两部分。为避免相互干扰，将数字部分的供电与模拟部分的供电分开，分别用独立的稳压电路，并用电感与电容做成的滤波器隔离。数字部分需要单+5V电源，由一片LM7805CT对8V电源电压稳压得到。模拟部分主要是程控放大器电路和AD转换器的模拟输入电路，程控放大器电路需要±5V双电源，AD转换电路的模拟部分需要+5V的单电源，+5V电压由LM317T对8V电源电压稳压得到，而－5V电压专门用一片DC/DC芯片MC34063AD将+8V转换成约－8.3V，DC/DC输出电压由R30和R31决定，$V_{OUT}=-(R30+R31)/R31\times1.25V=-8.25V$，输出的负电压由负压稳压芯片LM337T稳压得到－5V，为避免DC/DC电路对其他电路产生干扰，在其输入和输出端分别串联L4和L5进行隔离，在选择元件时蓄能电感L3选择磁罐封装带屏蔽的电感，使干扰降到最低。

二 高速AD转换与FIFO存储电路

数字示波器中最重要的电路是AD转换电路，它的作用是将被测信号采样并转换成数字信号存入存储器，说它是数字示波器的咽喉一点也不为过，因为它直接决定着数字示波器所能测量的最高频率。根据乃奎斯特定理，采样频率至少是被测信号最高频率的2倍才能复现出被测信号。而在数字示波器中采样频率至少应该是被测信号频率的5~8倍才行，否则根本观察不到信号的波形。在本电路中我选用的AD转换芯片为BB公司的8位高速AD转换器ADS830E，官方资料给出的采样频率为10kS/s~60MS/s，通过实验发现转换速率在1kHz以下工作也很正常，所以本示波器的最低采样频率为600S/s，要说明的一点是高速AD转换器一般都有高低端转换速率的限制，比如TLC5540，8位AD转换器，转换速率为5~40MS/s，我试过当转换频率降到2MHz以下时就不能正常工作，所以选择AD转换芯片时不仅要注意最高转换速率，还要关注最低转换速率，否则可能导致电路无法正常工作。有朋友也许会问8位转换精度会不会有点太低？其实8位转换器对于示波器来说是够用的，就拿这个电路来说，我选用的LCD显示模块的分辨率为320×240，垂直分辨率为240格，而8位转换精度的分辨率为256格，比显示器的分辨率还高，所以绝对够用。还有就是价格及

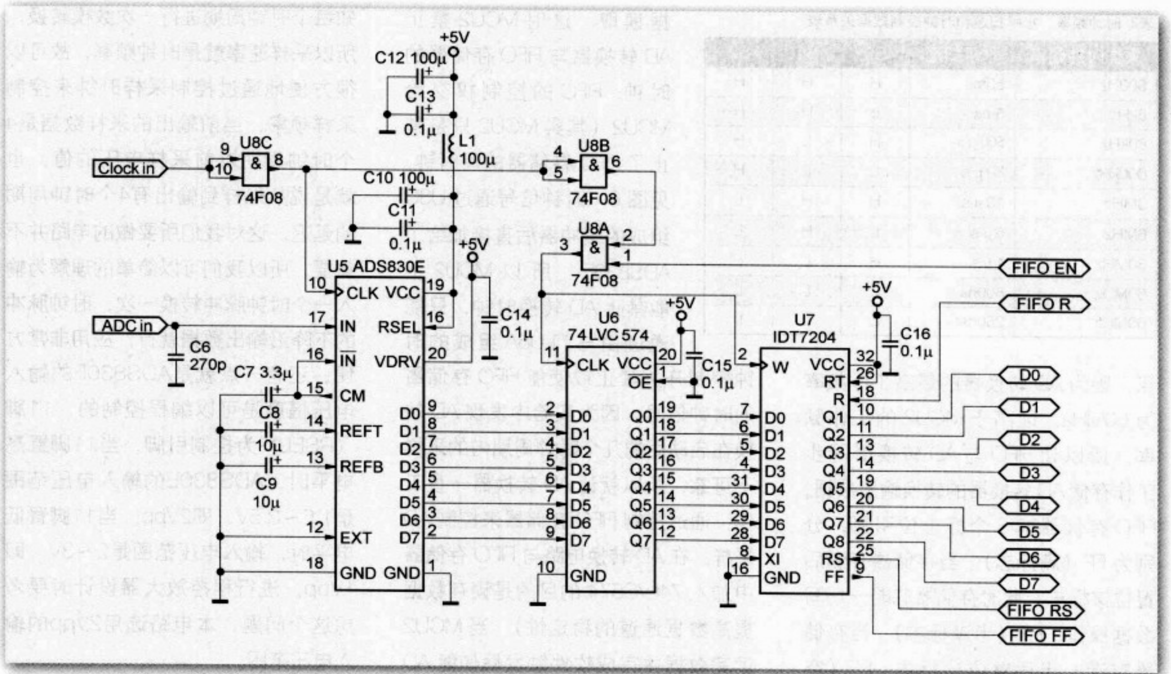


图4 高速AD转换与FIFO存储电路

电路的设计，在最高采样率相同的情况下10位AD转换芯片的价格是8位AD转换芯片的几倍，而且位数的增加也使电路的复杂程度大大增加，将直接影响处理速度，导致屏幕刷新过慢，反而影响性能。所以本着够用的原则本示波器选用60MHz的8位AD转换芯片ADS830E。引脚排列见图7。

AD 转换与 FIFO 存储电路见原理图 4，由程控放大电路调整后的信号分成两路，一路进入 AD 转换电路进行采样，采样所得的数据由 74LVC574 锁存缓冲后送入 FIFO 存储器。FIFO 存储器是一种双口的 SRAM，这种存储器没有地址线，随着写入或读取信号对数据地址指针进行递加或递减，来实现寻址。在 AD 转换器与 MCU2 之间加入 FIFO 的作用是起到高速数据缓冲的作

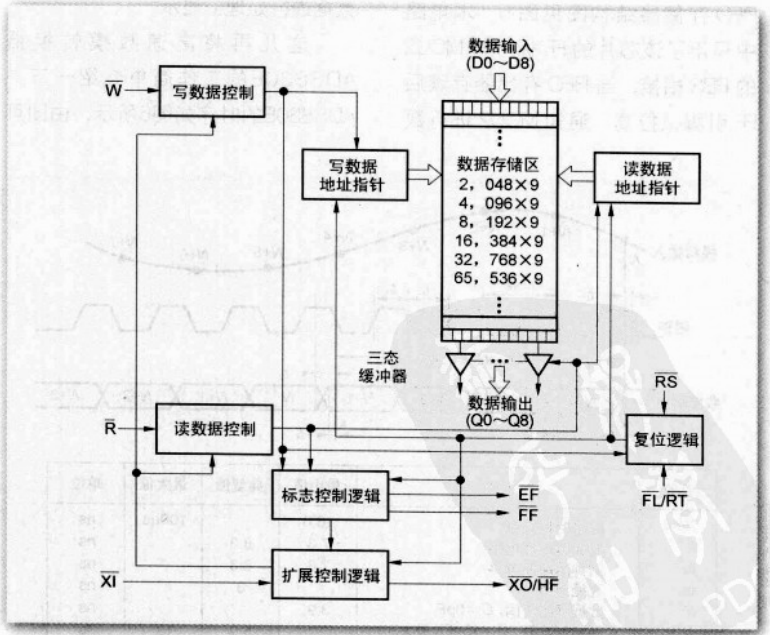


图5 FIFO存储器结构图

表2 时钟频率、水平扫速和时钟控制数据关系表

采样时钟频率	水平扫速	S0	S1	S2
600Hz	50ms	H	H	H
6kHz	5ms	L	H	H
60kHz	500μs	H	L	H
600kHz	50μs	L	L	H
3MHz	10μs	H	H	L
6MHz	5μs	L	H	L
30MHz	1μs	H	L	L
60MHz	500ns	L	L	L
60MHz	250ns*	L	L	L

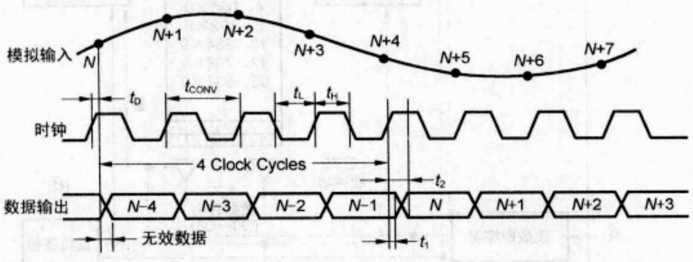
用，因为AD转换器的最高工作频率为60MHz，远高于MCU2的工作频率，所以让FIFO与AD转换器同步工作存储AD转换器的转换输出数据。FIFO存储器有3个标志位引脚，分别为FF（满标志）：当存储器存满后置位该标志，此时存储器忽略一切写数据操作。HF（半满标志）：当存储器存满一半后置位该标志。EF（空标志）：当存储器被读空时置位该标志，此时存储器忽略一切读数据操作。FIFO存储器结构图见图5。本电路中只用了该芯片的FF标志与MCU2的PB3相接，当FIFO存储器存满后FF引脚被拉高，通知MCU2进行数据读取，这时MCU2禁止AD转换器与FIFO存储器的时钟，FIFO的控制权交给MCU2（其实MCU2只是禁止了FIFO存储器的写时钟，见图6，时钟信号通过U8C组成的缓冲器后直接加给了ADS830E，所以MCU2不能禁止AD转换时钟，只能通过由与门U8A组成的时钟控制开关禁止或使能FIFO存储器的时钟信号。因为实验中发现AD转换在启动后的几个时钟周期内的采样不可靠，所以就让AD转换器一直工作，通过控制FIFO存储器来控制AD采样。在AD转换电路与FIFO存储器中加入74LVC574的目的是锁存数据提高数据通道的稳定性）。当MCU2读完数据并完成软件触发后使能AD转换器与FIFO存储器时钟，继续读取新的数据，同时MCU2对读取的数据进行处理、显示。

这儿再将高速数模转换器ADS830E的工作简单介绍一下，ADS830E的时序如图6所示，由图可知每个时钟周期进行一次数模转换，所以采样速率就是时钟频率，故可以很方便地通过控制采样时钟来控制采样频率，当前输出的采样数据是4个时钟周期以前采样电压的值，也就是说从采样到输出有4个时钟周期的延迟，这对我们所要做的电路并不重要，所以我们可以简单的理解为输入一个时钟脉冲转换一次，时钟脉冲的下降沿输出数据就行，应用非常方便。还有一点就是ADS830E的输入电压幅度是可以编程控制的，11脚（RSEL）为控制引脚，当11脚置高电平时，ADS830E的输入电压范围是1.5～3.5V，即2Vpp。当11脚置低电平时，输入电压范围是2～3V，即1Vpp。进行程控放大器设计时要考虑这个问题，本电路选用2Vpp的输入电压范围。

三 时钟产生电路

时钟产生电路为AD转换器提供一系列的采样时钟信号，分别为600Hz、6kHz、60kHz、600kHz、3MHz、6MHz、30MHz和60MHz，共8种，分别对应着不同的水平扫速，由MCU1控制，控制关系见表2。

时钟产生电路见图8，基准时钟信号由一块60MHz的温度补偿型有源晶体模块提供，输出的60MHz信号一路直接作为60MHz采样时钟送入多



参数	说明	最小值	典型值	最大值	单位
t_{CONV}	转换时钟周期	16.6		100μs	ns
t_L	时钟脉冲低电平	7.3	8.3		ns
t_H	时钟脉冲高电平	7.3	8.3		ns
t_D	孔径延时		3		ns
t_1	数据保持时间，C_L=0pF	3.9			ns
t_2	新数据延时，C_L=15pF（最大）		5.9	12	ns

图6 AD转换时序图

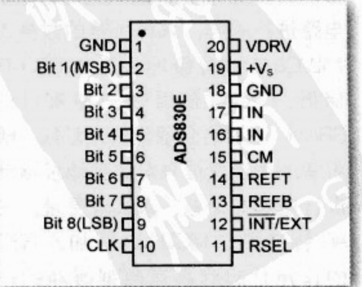


图7 ADS830E引脚图

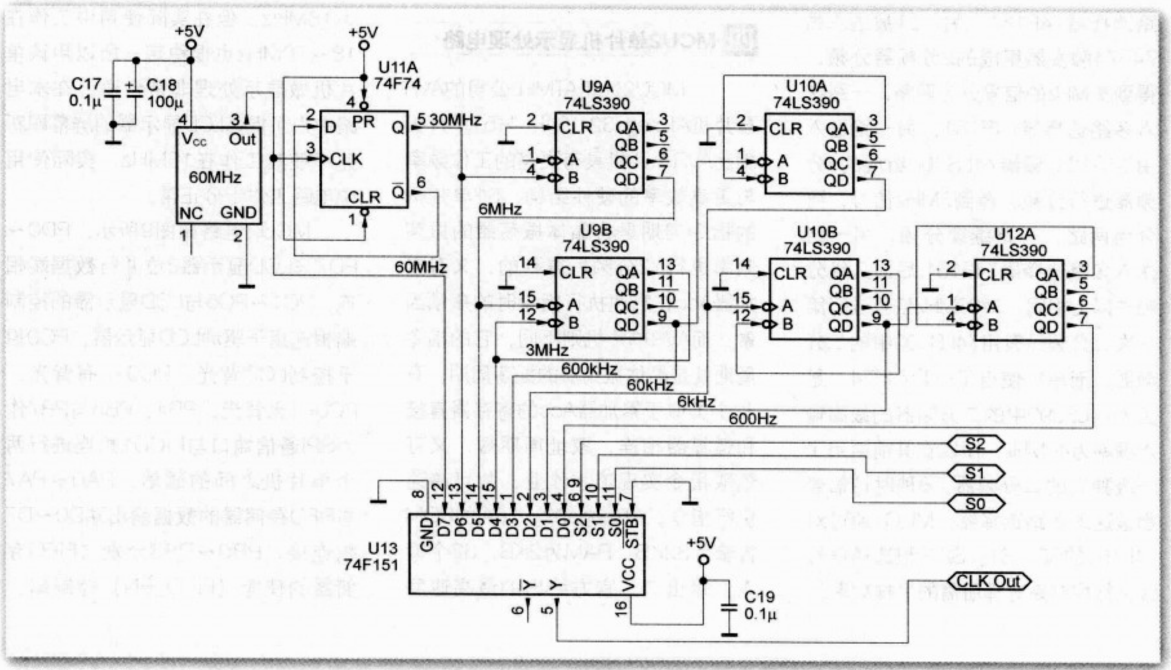


图8 时钟产生电路

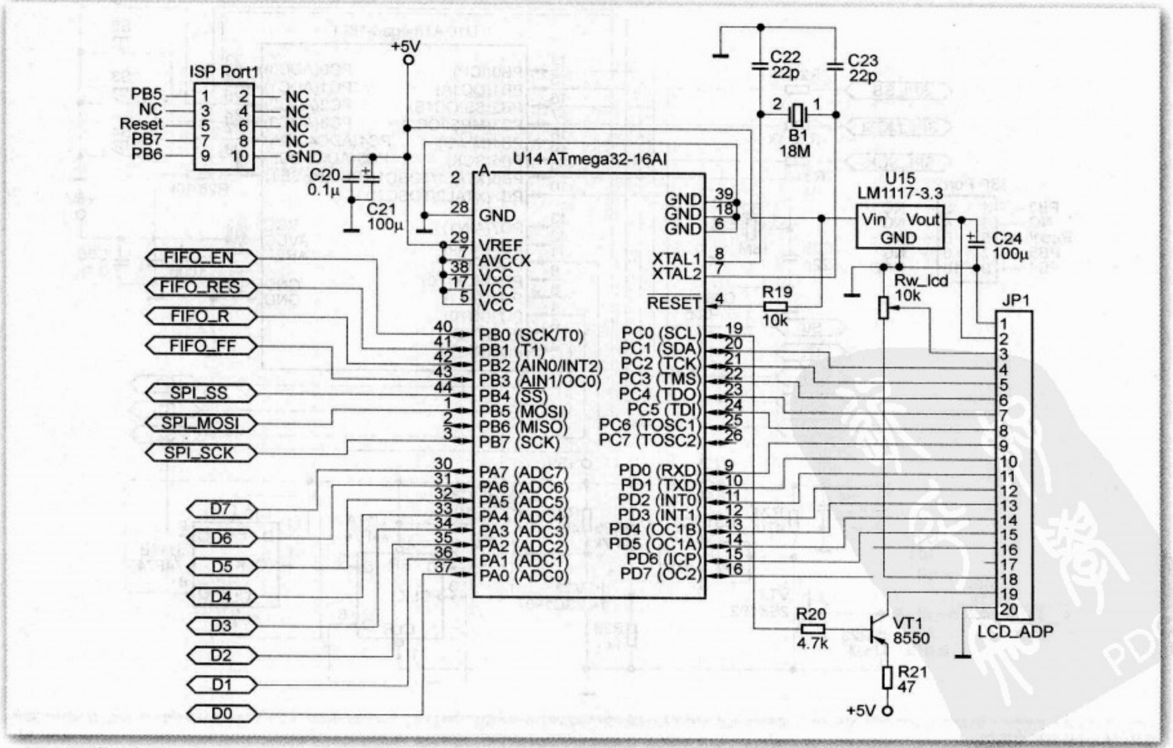


图9 MCU2控制电路图

路选择器74F151，另一路被送入由74F74触发器组成的2分频器分频，得到30MHz的信号分为两路，一路送入多路选择器74F151，另一路送入由2-5-10分频器74LS390组成的5分频器进行分频，得到6MHz信号，再分为两路，一路继续分频，另一路送入多路选择器74F151,后面几级分频与以上相同。对60MHz信号进行第一次二分频没有用74LS390中的二分频器，而单独使用了一片74F74，是因为74LS390中的二分频器的最高输入频率为40MHz，所以在其前面用了一级独立的二分频器。8种时钟信号都被送入多路选择器，MUC1通过对74F151的S0、S1、S2三根选通信号线进行控制来选择所需的采样频率。

四 MCU2单片机显示处理电路

MCU2选用ATMEL公司的AVR单片机ATmega32-16AI，与51单片机相比AVR单片机具有更高的工作频率与更高效率的硬件结构，51单片机的指令周期是将晶体振荡器的振荡频率进行12分频后得到的，又有累加器Acc在高速执行指令时的瓶颈因素，而AVR单片机则不同，它的指令周期就是晶体振荡器的振荡周期，有32个类似于累加器Acc的寄存器直接和运算器相连，取址周期短，又可预取指令实现流水作业，故可高速执行指令。ATmega32－16AI的ROM容量为32KB，RAM为2KB，32个输入、输出口，官方给出的最高速度为16MHz，但在实际使用中工作在18～20MHz也很稳定，所以用该单片机做显示处理非常合适。在本电路中为了提高LCD显示器的屏幕刷新速率使其工作在18MHz，实际使用中电路工作十分正常。

MCU2电路如图9所示。PD0～PD7与LCD显示器8位并行数据端相连，PC1～PC5与LCD显示器的控制端相连用于驱动LCD显示器，PC0用于控制LCD背光，PC0=0有背光，PC0=1无背光。PB4、PB5与PB7作为SPI通信端口与MCU1相连进行两个单片机之间的通信。PA0～PA7与FIFO存储器的数据输出端D0～D7相连接，PB0～PB3分别与FIFO存储器的使能（FIFO_EN）控制端、

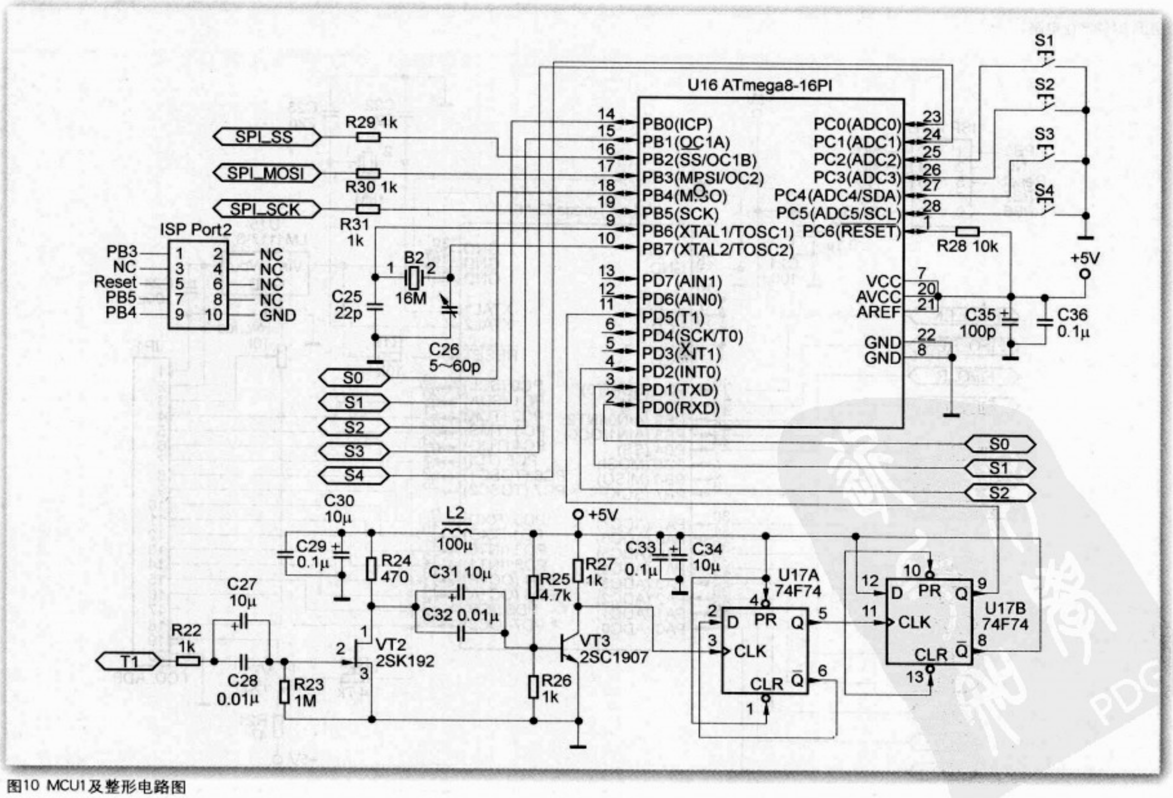


图10 MCU1及整形电路图

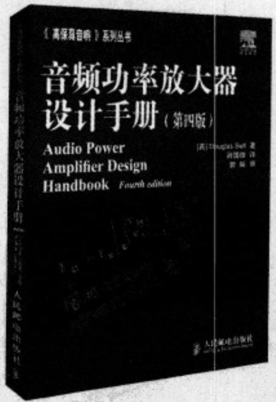
复位（FIFO_RES）控制端、读数据（FIFO_R）控制端和满标志（FIFO_FF）位相接。上电时，MCU2通过FIFO_RES端口对FIFO存储器进行复位，复位后存储器的读写指针都指向0，允许写数据，MCU2通过FIFO_EN端使能FIFO存储器，开始将AD转换器输出的数据写入存储器，当FIFO存储器写满数据后FIFO_FF位被拉高通知MCU2读取采样数据，MCU2禁止FIFO存储器写入数据，然后从FIFO存储器中读数据，当数据读完并完成软件触发后使能FIFO存储器继续存储采样数据，然后从读取的数据中测出波形的峰峰值后将数据转换成波型与参数显示在LCD显示器上，峰峰值的测量是通过对一屏显示数据进行比较取出最大值与最小值与当前垂直电压灵敏度作为系数计算出来的。SPI通信通过中断的方式实现，MCU1每次给MCU2发送频率、水平扫速、垂直电压灵敏度等数据一共为9个字节，每发送一个字节MCU2中断一次，将接收到的数据存到一个数组中，直到9个字节全部发送完毕MCU2才对接收到的数据进行处理显示。这样可以使MCU2在平时都工作在数据的处理和显示上，提高了数据的处理速度。

五 MCU1单片机控制与信号整形电路

MCU1同MCU2一样也选用AVR单片机，型号为ATmega8-16，工作频率为16MHz，在电路中负责控制程控放大器和时钟发生电路，并负责测量被测信号频率，将各种参数通过SPI总线发送给MCU2。

MCU1电路见图10，PC2～PC5共4个I/O口接4个轻触开关S1～S4，S1、S2是两个复用键，用于控制水平扫速与垂直电压灵敏度，功能通过S4切换，当前功能状态显示在显示器上，如果当前的控制功能为控制水平扫速，则在显示器的右下边反显示“T”，如果当前的控制功能为控制垂直电压灵敏度，则在显示器的右下边反显示“V”。S3是触发控制，当前状态显示在控制状态左边，箭头上升则自动触发，箭头向下则不触发。长按S3选择交直流耦合方式。该示波器现在只能实现基本功能，其他更多功能有待于广大爱好者共同努力。S0、S1、S2、S3、S4共5个端口分别连接PB4、PB0、PB1、PC0、PC1用于垂直电压灵敏度控制，控制数据见“程控放大电路”中的表1。PB2、PB3、PB5作为SPI总线接口与MCU2通信，为了防止下载程序时两芯片SPI口冲突，在两单片机之间的SPI总线上串联了3只1kΩ的电阻，实验证明此法非常有效，电路工作稳定。PD0～PD2共3个I/O口用于时钟控制，控制数据见“时钟产生电路”中的表2。频率的测量使用了16位计数器，外部下降沿触发。程控放大器输出的信号送给由场效应管VT2和高频三极管VT3组成的高输入阻抗整形电路，整形后再由U17触发器74F74进行4分频，然后送入MCU1的T1（PD5）脚进行计数测频，在低水平扫速时（5ms/div和50ms/div）为了保证测频精度测频周期为1s，在高水平扫速时（小于5ms/div）测频周期为0.25s。测频的原理是通过记录1s或0.25s内计数器记录的脉冲数来换算频率，测频定时由中断完成，每测完一次频率就通过SPI总线向MCU2发送一次数据，所以在高水平扫速时每秒向MCU2发送4次数据，而在低水平扫速时每秒向MCU2发送1次数据，能较好地保证参数显示的实时性。

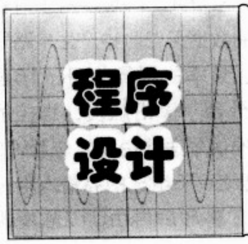
《音频功率放大器设计手册》



书号：21385　定价：80元

《音频功放设计手册》深入浅出地讲解了音频功率放大器的设计理念和制作细节，并以大量的电路试验数据向读者展现功率放大器的技术发展水平。该书至今已经历多次修订，这次修订添加了D类级放大器和用于控制输出偏移的直流伺服系统等内容。这些新增内容在近年的音频功放设计中已被广泛应用。

本书中充满了关于音频功放设计的真知灼见，同时也包括许多完整的设计思路和图表。无论是学习功放电路知识的爱好者，还是设计音频功放的从业人员，都能在本书中找到相关设计原则和实践数据。



给你的电路注入灵魂

◎魏坤

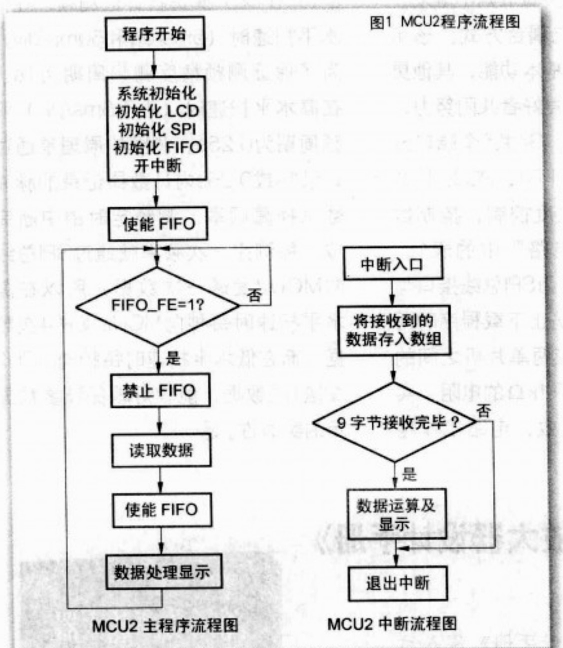


图1 MCU2程序流程图

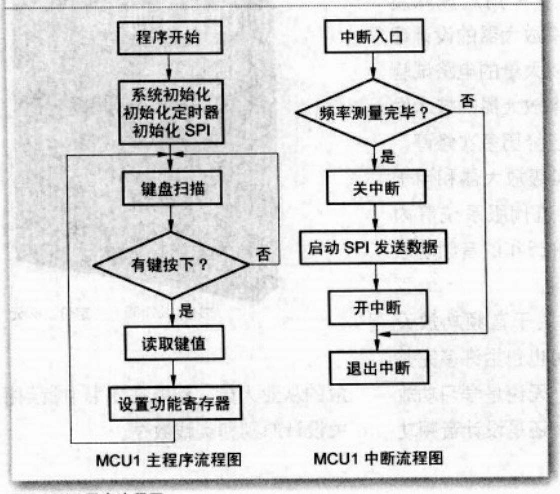


图2 MCU1程序流程图

没有程序，那一堆堆电路起不到任何作用，完全是一堆废板子！就像一台没有操作系统的电脑一样，只能废电。程序设计是整个示波器制作中的难点，本文将详细讲解程序的设计。

该示波器中的程序全部是用C语言编写的，开发环境为CodeVisionAVR C，源程序可到《无线电》网站（*www.radio.com.cn*）下载，下面就各个重要的子程序的设计一一叙述，其他程序见源程序。MCU2与MCU1的程序流程图分别见图1和图2。

1 同步触发的软实现

细心的朋友也许会发现这个示波器电路中缺少一部分电路，就是硬件触发电路。为了降低电路的复杂性，我没有做这个电路，而是用软件实现同步触发的。虽然这样做有个弊端，就是几乎无法实现单次触发，但是我基本不用这个功能。要用这个功能的朋友只需在程控放大器部分加上一个由高速比较器构成的迟滞比较器，然后将输出端接到一个外部中断的输入口即可。当然程序和电路就要作相应的变化，这里就不多讲了。软件触发的好处是触发条件更易调整，只需调整比较语句中的参数即可。保证可以用软件触发的条件是要有足够大的存储空间，显示一屏的数据为240个，但每次读进单片机的数据为500个，多余260个数据就是作为不满足触发条件的舍弃余量。为了以防万一，当从500个数据中已经读出超过260个数据但还没有符合触发条件的数据时，将跳出触发比较循环，重新从FIFO存储器中读出500个数据，因为FIFO存储器为4K容量，最多可以这样重复读取8次数据，所以软触发可以非常稳定地工作，在该示波器的MCU2中控制触发的语句见以下程序段：

```
read:
for(i=0;i<500;i++)    //从FIFO存储器中读500个数据
{
 FIFO_R=0;
```

```
 add[i]=FIFO_bus;
 FIFO_R=1;
}
while(!(add[q]<=m&&add[q+1]>=m))    //满足幅度为m且为上升沿则触发
 {
 q+=1;
 if(q>=260)         //若存储数据不足则重新读数据
 goto read;
 }
```

程序的意思是只有当此时采样信号的数值是m且为上升沿时才可以触发，改变触发沿只需改变运算符，改变触发电压只需改变m的值即可，m的取值范围是0～255。

2 从采样数据中测信号峰峰值

本示波器能够测量输入信号电压的峰峰值，并显示在屏幕上。这个功能由峰峰值测量子程序完成，见下面的程序段。

在程序开始时给a中赋值128，即基线电压值。因为一屏幕的显示数据为240个，所以用for()循环将if…else…判断语句执行240次，在a中存放最大值，在b中存放最小值。对每个数据进行比较，如果该数据比a大则将这个数据存入a，如果小于a，则将这个数据与b进行比较，比b大则抛弃，比b小则存入b。故当240个循环执行完后，a中存放的是这一屏幕数据中的最大值，b中存放的是这一屏幕显示数据中的最小值。在比较完后用a减去b，得到差值存入c中，则c中保存的值就是电压的峰峰值，调用电压计算显示子程序，根据当前的垂直灵敏度给c乘以不同的倍数，得到实际的峰峰值。当前垂直灵敏度的判断由一个switch()选择结构完成。biao寄存器中的数据是当前的垂直灵敏度，case 4：后面没有运算是因为程控放大器在此状态下的放大倍数为1，即没有放大也没有衰减。

在计算完峰峰值后，设置LCD显示器，使其工作在文本模式（因为只有在文本模式下对字库的调用才有效），然后设置屏幕上显示电压峰峰值的坐标（对该LCD模块的控制是先送命令，后送参数。例如设置X坐标“SdCmd(0x60);SdCmd(30);”中，第一个SdCmd()送的0x60是设置X坐标的命令，第二个SdCmd()送的30是X轴的坐标，其他设置相同。具体见光盘中LCD显示屏的资料。），在设置完LCD后约定显示格式，小数点后保留2位有效数字，显示单位为Vpp，显示完毕后需重新设置LCD工作状态，使其工作在图形模式用于波形显示。

```
        a=128;
  for(i=0;i<240;i++)    //取数据中的最大值与最小值
        {
          if(add[i]>a)
            {
             a=add[i];
            }
          else if(add[i]<b)
             {
              b=add[i];
             }
        }       //取得最大值存于a中，最小值存于b中
   c=a-b;    //取差值存入c中
   if(e>5)   //避免频繁换数据
    {
     disp_volt(); //调用电压值计算显示子程序
     e=0;
    }
     e++;
  void disp_volt()  //电压值计算显示子程序
  {
  c=c*0.667;
     switch(biao)//根据不同的垂直灵敏度计算峰峰值
                 {
                 case 0:c=c*25;break;
                 case 1:c=c*10;break;
                 case 2:c=c*5;break;
                 case 3:c=c*2.5;break;
                 case 4:;break;
                 case 5:c=c*0.5;break;
                 case 6:c=c*0.25;break;
                 case 7:c=c*0.1;break;
                 case 8:c=c*0.05;break;
                 default:break;
                 }
    SdCmd(0x00);SdCmd(0xcd); //设置WLCR 寄存器，使LCD工作于显示文本状态
    SdCmd(0xf1);SdCmd(0x1f); //字型水平、垂直方向各放大2 倍
    SdCmd(0x60);SdCmd(30); //设置显示X坐标
    SdCmd(0x70);SdCmd(50); //设置显示Y坐标
    sprintf(lcd_buffer,"%3d.%02dVpp",c/100,c%100); //约定显示格式，小数点后保留两位
    ShowText(lcd_buffer);                //有效数字
    SdCmd(0x00);SdCmd(0xc5); //设置WLCR 寄存器,使LCD工作于图形显示模式
    }
```

3 将采样数据转换成显示数据

LCD显示屏为320×240点阵的图形显示模块，内置RA8803 控制器。模块不仅可以显示单一的文本、图形，而且可以实现双图层的（“或”、“异或”、“同或”、“与”四种逻辑关系）合成显示。在本示波器中方格线与波形是在不同的层上显示，显示关系为“或”，画方格线的程序见原程序，比较简单就不多说了，这里着重解释一下如何将采样数据转换成显示数据。

显示屏的地址结构见图3，由图可知对显示数据的操作最小单位为字节，因为ATmega32的内存为2K字节，显示波形的区域为240×240，显示一屏波形所需处理的数据为7.2K，故ATmega32不可能同时处理一屏波形的全部数据，所以将一屏波形按字节分为30列，每次处理一列，处理完后直接显示，然后处理下一列。将AD转换所得的数据作为给LCD显示器写数据的列地址，因为一列数据位240字节，所以定义一个容量为240字节的数组lcd_buffer[240]，lcd_buffer[ ]在初始时数据全为00H，因为每次对数据的操作至少是一个字节，而每次处理的数据是所显示的一个点，所以对每列数据处理8次，定义一个变量m，在一列数据处理之前将其赋值为m=10000000B，处理该列第1个点时让该点垂直地址所对应的数组中的数据（00H）与m相或，并将结果存入数组，再将变量m右移一位，即m=01000000B。让第2点垂直地址所对应的数组中的数据与m相或，并将结果存入数组，再将变量m右移一位，即m=00100000B ……这样直到一列数据中的8个点全处理完，重新给m赋值为m=10000000B，然后送显示。为了有较好显示效果，将显示相邻的点用线连接起来，在处理第一个点时预读出第二个点的垂直坐标，与第一个点的垂直坐标进行比较，如果比第一个点的垂直坐标小则从第一个点向第二个点拉线，如果比第一个点的垂直坐标大则从第二个点向第一个点拉线。具体程序如下：

```
for(j=0;j<30;j++)       //将一屏数据分为30列
  {
   m=0b10000000;
   for(i=j*8;i<(j+1)*8;i++) //处理每列中的8个点
    {
     k=add[i]; // 读出采样数据作为垂直坐标
      lcd_buffer[k]=(lcd_buffer[k]|m); //让该坐标对应数据与m相或并原位保存
     if(add[i+q]<add[i+q+1])       //判断拉线方向
      {
       for(k=add[i+q];k<add[i+q+1];k++)
       {
       lcd_buffer[k]=(lcd_buffer[k]|m);
       }
      }
     else
      {
       for(k=add[i+q];k>add[i+q+1];k--)
       {
       lcd_buffer[k]=(lcd_buffer[k]|m);
       }
      }
     m>>=1;    //将m的值右移一位
    }
   for(h=0;h<240;h++)  //送显示
   {
    SdCmd(0x60);SdCmd(j);      //设置显示X坐标
    SdCmd(0x70);SdCmd(h);      //设置显示Y坐标
    SdData(lcd_buffer[h]);     //传送显示数据
    lcd_buffer[h]=0;           //将已送出数据的存储器单元清零
   }
  }
```

4 用MCU1频率测量

用ATmega8测量频率使用了其中的两个计数器/定时器。设置TCCR1B=6使16位计数器/定时器T/C1工作在计数器方式，对外部T1（PD5）引脚输入的脉冲信号进行计数（下降沿触发）。设置TCCR2=15使T/C2工作在CTC模式，内部时钟1024分频（16M/1024=15.625kHz），设置

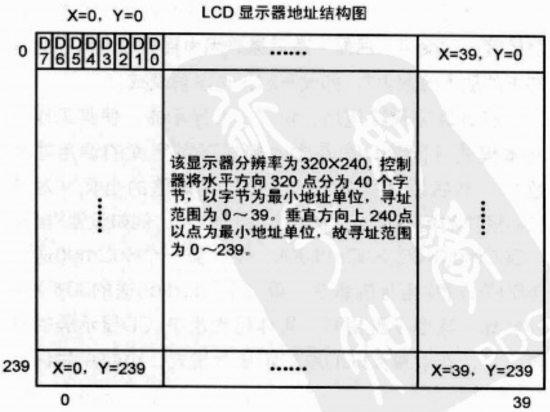


图3 LCD显示器地址结构图

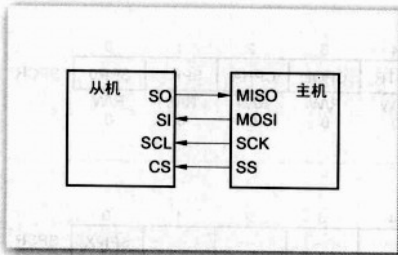


图4 主/从机的连接图

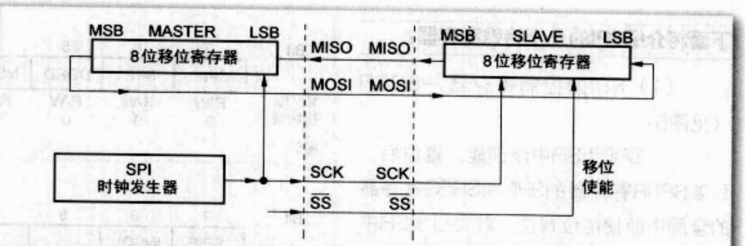


图5 SPI主机-从机的互连

OCR2=124，使中断时间为(124+1)/15.625=8ms，在低水平扫速时每隔8ms中断一次，在高水平扫速时通过重新设置TCCR2=14，则每隔2ms中断一次，在这里以低水平扫速时为例，每次T/C2的中断中都首先记录下T/C1寄存器TCNT1当前的计数值，因此前后两次寄存器TCNT1的差值（time1_new-time1_old）或（65536-time1_old+time1_new)就是8ms时间内T1引脚输入的脉冲个数，为了提高测量精度程序对125个8ms内的脉冲个数进行累计，将累计值存入变量freq中，即可知限定时间为1s内有多少个脉冲，这样就将T1脚上的脉冲频率测量出来了，而T1脚上的频率是经过4分频后的，所以真正的频率是将测量的频率的4倍。具体程序如下：

```
interrupt [TIM2_COMP] void timer2_comp_isr(void)
{
time1_new = TCNT1;              //8ms到，记录当前T/C1的计数值
time_8ms_ok = 1;
}
void time()
{
 if (time_8ms_ok)
        {         // 累计T/C1的计数值
                  if (time1_new >= time1_old) freq = freq + (time1_new – time1_old);
                  else freq = freq + (65536 – time1_old + time1_new);
                  time1_old = time1_new;
                  if (++freq_time >=125)
                  {
                          freq_time = 0;        // 1s到
                          freq_to_spibuff();// 将1s内的脉冲数送计算并通过SPI发送
                          freq = 0;
                  }
                          time_8ms_ok = 0;
        }
}
```

5 将两个单片机联系起来

将两个单片机联系起来就是实现两个单片机之间的通信，在这里实际就是让MCU1控制MCU2，为了完成这一功能使用SPI通信。

首先介绍一下SPI的通信协议：

SPI（串行外设接口）总线系统是一种同步串行外设接口，允许MCU与各种外围设备以串行方式进行通信、数据交换，广泛应用于各种工业控制领域。基于此标准，SPI系统可以直接与各个厂家生产的多种标准外围器件直接接口。SPI接口通常包含有4根线：串行时钟（SCK）、主机输入/从机输出数据线（MISO）、主机输出/从机输入数据线（MOSI）和低电平有效的从机选择线SS。在从机选择线SS使能的前提下，主机的SCK脉冲将在数据线上传输主/从机的串行数据。主/从机的典型连接图如图4所示。

串行外设接口SPI允许AVR单片机和外设之间进行高速的同步数据传输。AVR单片机SPI的特点如下：全双工，3线同步数据传输，主/从机操作，LSB首先发送或MSB首先发送，7种可编程的比特率，传送中断结束，写碰撞标志检测，可以从闲置模式唤醒。SPI主机-从机的互连如图5所示，系统包括两个移位寄存器和一个主时钟发生器。通过将需要的从机的SS引脚拉低，主机启动一次通信过程。主机和从机将需要的数据放到相应的移位寄存器，主机在SCK引脚上产生时钟脉冲以交换数据。主机的数据从MOSI移出，从从机MISO移入。从机的数据从MISO移出，从从机MOSI移入。主机通过将从机的SS拉高实现与从机的同步。

下面将介绍SPI的几个特殊寄存器：

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	SPCR
读/写	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初始值	0	0	0	0	0	0	0	0	

图6

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	SPIF	WCOL	—	—	—	—	—	SPI2X	SPSR
读/写	R	R	R	R	R	R	R	R/W	
初始值	0	0	0	0	0	0	0	0	

图7

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	MSB							LSB	SPDR
读/写	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
初始值	X	X	X	X	X	X	X	X	未定义

图8

（1）SPI的控制寄存器—SPCR（见图6）

SPIE为SPI中断使能，置位后，只要SPSR寄存器的SPIF和SREG寄存器的全局中断使能位置位，就会引发SPI中断。SPE置位将使能SPI，DORD置位时数据的LSB首先发送；否则数据的MSB首先发送。MSTR置位时选择主机模式，否则为从机。CPOL置位表示空闲时SCK为高电平；否则空闲时SCK为低电平。CPHA决定数据是在SCK的起始沿采样还是在SCK的结束沿采样。通过对SPR1、SPR0进行设计，确定主机的SCK速率。

（2）SPI的状态寄存器—SPSR（见图7）

SPIF为中断标志位，串行发送结束后，SPIF置位。若此时寄存器 SPCR的SPIE和全局中断使能位置位，SPI中断即产生。进入中断例程后SPIF将自动清零。在发送当中对SPI数据寄存器SPDR写数据将置位WCOL，SPI2X置位后SPI的速度加倍。

（3）SPI的数据寄存器—SPDR（见图8）

SPDR数据寄存器为读/写寄存器，用来在寄存器文件SPI移位寄存器之间传输数据。写寄存器将启动数据传输，读寄存器将读取寄存器的接收缓冲器。SPI系统的发送方向只有一个缓冲器，而在接收方向有两个缓冲器。也就是说，在发送数据时一定要等到移位过程全部结束后才能对SPI数据寄存器执行写操作。而在接收数据时，需要在下一个字符移位过程结束之前通过访问SPI数据寄存器读取当前接收到的字符。否则第一个字节将丢失。

本示波器中只用MCU1控制MCU2，所以MCU1只用于发送控制数据，而MCU2只用于接收控制数据，所以将MCU1配制成SPI主机，将MCU2配制成SPI从机即可。在实际的程序设计中由于MCU1启动SPI通信是在中断服务程序中完成，所以在执行完后相应寄存器会被清零，导致数据错误，所以MCU1并没有使用其中的SPI控制器，而是使用一个子程序模拟SPI通信，解决了控制寄存器被清零的问题。MCU2则使用了本身的SPI控制器进行数据接收。具体程序见以下程序段：

（1）MCU1模拟SPI主机程序段

spi_out()为SPI发送子程序，带有参数j，即j为要发送的数据，发送数据时先拉低ss，让从机开始接收数据，然后用for()循环将数据按由左至右的顺序（即高位先发送）发送给从机，具体方法是将j与0b10000000相与，屏蔽低7位，是1则将dat拉高，否则置低，然后拉高clk，延时1us再置低clk，模拟时钟信号，再将j左移一位，再与0b10000000相与，然后判断发送……直到8位数据发送完毕，拉高ss告诉从机数据发送完毕进行数据存储。发送数据时约定数据格式，即两个单片机之间的通信协议：每次发送9个字节，前4个字节是测得的频率数据，且高位在前；第5个字节为垂置灵敏度数据；第6个字节为触发控制数据；第7个字节为同步控制数据；第8个字节为水平扫速数据；第9个字节为功能复用键的当前功能标志。从机再接收到数据后按照这样的顺序对数据进行处理，实现相应的功能。spi_out()这个子程序还可以用于其他需要SPI控制的芯片，只需在调用前对I/O口进行定义即可。

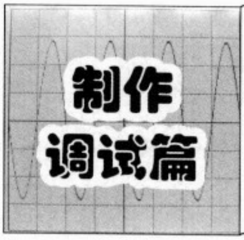
```
spi_out(unsigned char j)
{
 unsigned char u;
 ss=0;
 for(u=0;u<8;u++)
    {
      if(j&0b10000000) {  dat=1; }
      else {dat=0;}
      delay_us(1);
      clk=1;
```

```
      delay_us(1);
      clk=0;
      delay_us(1);
      j<<=1;
    }
    delay_us(1);
  ss=1;
}
void freq_to_disbuff()
{       if(fr==0)
        {
        freq=freq*4;
        }
        eep=freq>>24;//取频率高8位
        spi_out(eep);
        delay_us(10);
        eep=(freq>>16)&0xff;
        spi_out(eep);
        delay_us(10);
        eep=(freq>>8)&0xff;
        spi_out(eep);
        delay_us(10);
        eep=freq&0xff;//取频率低8位
        spi_out(eep);
        delay_us(10);
        spi_out(w[i]); //垂直灵敏度数据
        delay_us(10);
        spi_out(tri); //触发数据
        delay_us(10);
        spi_out(hold); //同步数据
        delay_us(10);
        spi_out(kr); //扫速数据
        delay_us(10);
        spi_out(zhi); //复用键功能标志数据
        delay_us(10);
        }
```

(2) MCU2从机SPI程序段

init_spi()函数是将MCU2配制成SPI从机，每接收一个字节的数据中断一次，中断服务程序中将接收到的数据存入数组，并将数组地址加1，然后判断9个字节是否接收完毕，若没接收完则继续等待接收，接收完后则将数据按约定格式处理显示。大家可以根据自己的需求改变这些格式为其增加新的功能。

```
void init_spi() //SPI初始化子函数
{
DDRB.7=0;
PORTB.7=1;
DDRB.5=0;
PORTB.5=1;
DDRB.4=0;
PORTB.4=1;      //将SPI端口设置成输入
SPCR=0b11000101; //设置SPI为从机
SPSR=0X00;      //清零SPSR寄存器
}
interrupt[SPI_STC] void spi_isr(void) //SPI接收数据中断
{
 if(j!=9)
 {
 i[j]=SPDR;  //将接收到的数据存入数组
   j++;      //给数组地址加1
 }
}
    if(j>=9)   //判断9个字节数据是否接受完毕
   {
   eep=i[0];
   freq=eep;
   freq=freq<<8;
   eep=i[1];
   freq=freq|eep;
   freq=freq<<8;
   eep=i[2];
   freq=freq|eep;
   freq=freq<<8;
   eep=i[3];
   freq=freq|eep; //将频率值整和到freq寄存器
   disp_freq();   //显示频率值
   eep=i[4];
   disp_volt();   //显示垂直灵敏度
   tri=i[5];      //显示触发方式
   hold=i[6];     //显示同步
   biao=i[7];     //显示扫速
   disp_time();
   zhi=i[8];  //显示复用键当前功能
   disp_cond();
   j=0;
   }
```



神形合一 让你的示波器动起来！

◎魏坤

硬件、软件都讲完了，接下来就将它们组装起来吧！

一 元件选择

制作本示波器所需的主要元件（包括显示器、集成电路和继电器）的型号、数量以及参考价格见表1，其中参考价格为我买该元件时的价格，仅供参考。加上电阻、电容总的费用不超过500元，如果你对显示的要求不是很高，可以选择分辨率低一些的显示器，那样成本会有较大幅度的下降，比如一块240×160的显示器价格为190元，而192×128的仅为140元，建议显示器的分辨率不要低于192×128。当然显示器更换了，驱动程序也要根据显示器的相关指令做相应的调整，这里就不多说了。其他的元件（电阻、电容等）按图取值即可，程控放大器部分的一些特殊阻值的电阻可以通过电阻的串并联以及使用多圈电位器调整得到。该示波器的探头使用成品4MHz/40MHz探头。

表1 重要器件表

器件型号	数量	器件功能描述	单价(元)
LM2068R	1	320×240液晶显示屏	280
ATmega32-16	1	AVR单片机	17
ATmega8-16	1	AVR单片机	7
IDT7204-12	1	4KB、FIFO存储器	40
ADS830E	1	8位60MSa/s AD转换器	27
LM6172	2	高速运算放大器	8
NE5532	1	运算放大器	2
74F74	2	双触发器	1
74F08	1	高速4-2输入与门	1
74LS390	3	双2-5-10进制计数器	1
74F151	1	8输入多路选择器	2
74LVC574	1	高速8位锁存器	1
ULN2003	1	7路驱动器	2
MC34063	1	DC/DC转换芯片	1
LM317	1	正电压三端稳压器	1.5
LM337	1	负电压三端稳压器	1.5
LM7805	2	+5V三端稳压器	1
10cm×20cm双面板	2		13
AQ-5V	5	微型继电器	3

二 印制板的设计及注意事项

印制电路板使用热转印法制作，具体方法《无线电》上曾有详细介绍，这里就不多讲了。

本制作中的一些电路板是用双面板做的，包括程控放大电路板、AD转换及FIFO存储器电路板和时钟电路板。在业余条件下制作双面都走线的电路板是比较困难的，首先是不容易将两面走线对准，其次过孔无法沉铜。所以我只做了双面覆铜板一面，另一面的铜箔全部用来做接地，方法是在需要接地的地方直接放上焊盘通过过孔接在背面的铜箔上，这样做的好处是起到电磁屏蔽作用，而且布线相对单面板来说也更加简单，不用来接地的孔用大钻头进行轻微的扩孔削去周围的铜箔就行了，本电路中的程控放大电路、时钟电路和AD转换与FIFO存储器电路都是用这种办法做的，效果不错。

1. 程控放大电路

它的印制板见图1，具体制作成电路板见图2和图3。从图1中可以看出电源电路的大部分都是与程控放大器做在同一块电路板上，印制板上边为程控放大器电路部分，下边为负压产生和正负电源稳压电路，在安装电路时首先安装并调试电源电路，在电源电路装调好后再安装放大电路，因为电源电路装好后需要调整，如果先安装放大电路，那么调整电源电路时就要断开很多线，很麻烦，所以先装调电源再装放大电路，可以省去很多重复工作，具体做法电路调试中有详细介绍。从图2中可以看到5个长方体块，这是进行耦合方式选择和放大（衰减）倍数控制的继电器，体积仅

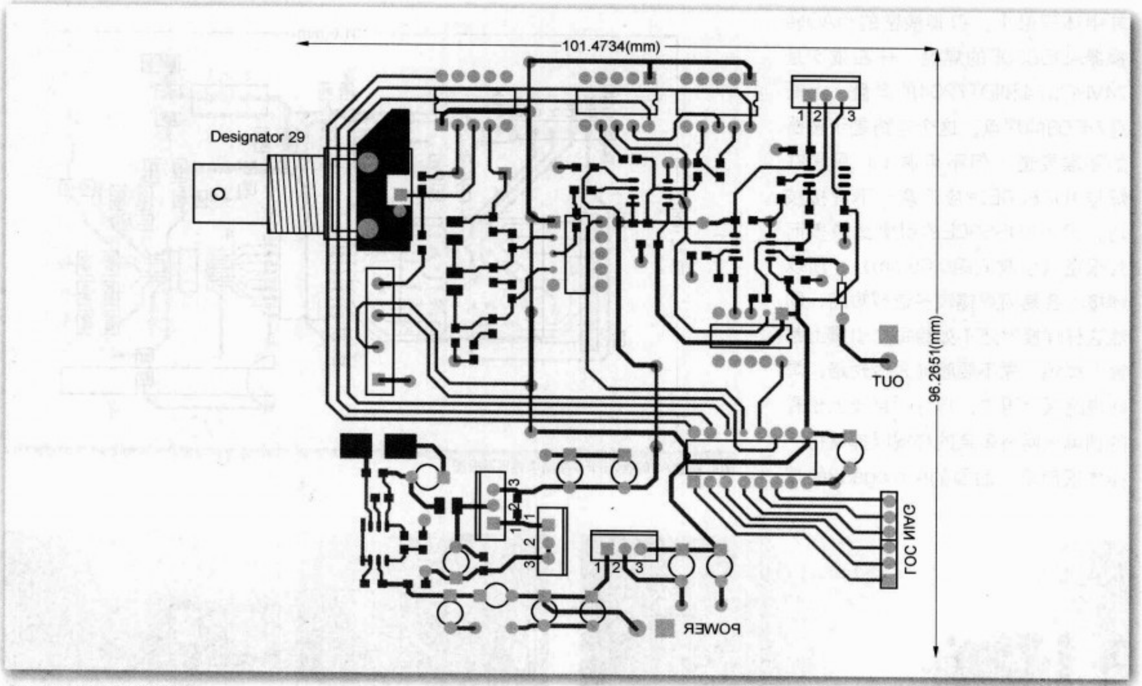


图1 程控放大电路PCB板图

比一个555大一点，当然在选择继电器时还可以选择别的继电器，只是电路板要进行一些变化，我选择的这个继电器（AQ-5V）在使用中有一些问题需要注意，一般的继电器线圈绕组供电没有正负极之分，而该继电器有正负极之分，接错了将没有动作，其第1脚为电源正，第10脚为电源负，在设计电路时要特别注意。从图2中还可以看出正面的覆铜层全部用来接地，做法如前所述。

图3为程控放大电路印制板的背面，板子右上边有两个可变电容，这两个电容的作用是对衰减后的信号进行边沿补偿，具体的调整后面会有详细介绍。

2. 高速AD转换与FIFO存储器电路

高速AD转换与FIFO存储电路PCB板图如图4所示，图5和图6为该板的实物图。从图4中可以看到

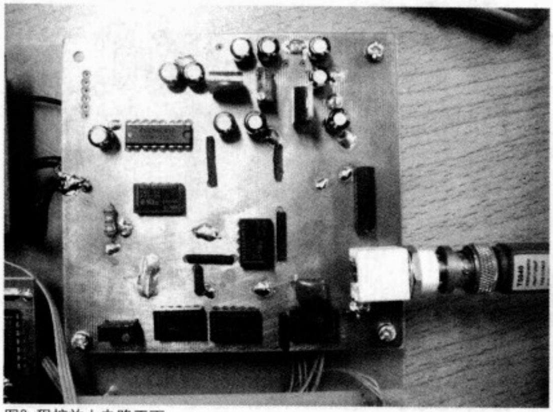


图2 程控放大电路正面

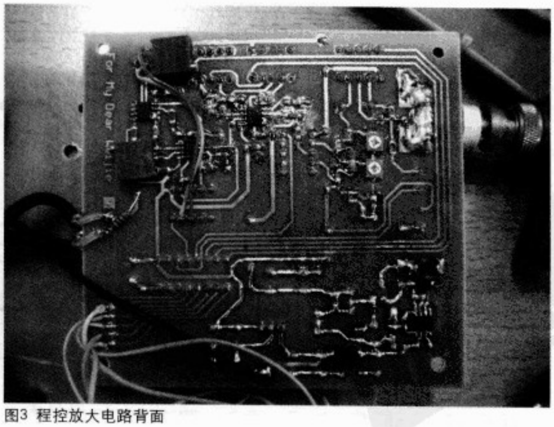


图3 程控放大电路背面

其中体积最小、引脚最密的为AD转换器ADS830E的焊盘，往左依次是74VHC574和IDT7204的焊盘，上面是74F08的焊盘。这个电路是示波器的咽喉要道，但不用调试！只是在焊接ADS830E时应注意一下焊接技巧，因为ADS830E的引脚比较多而且很密（引脚间距0.65mm），所以焊接时容易因焊锡较多造成短路，即然这样焊接时还不如给每个引脚上都镀上焊锡，先不要管他是否短路，焊在电路板上再说，焊好后用浸上松香的铜编织网将多余的焊锡吸掉就行，操作很简单。后面的ATmega32的焊

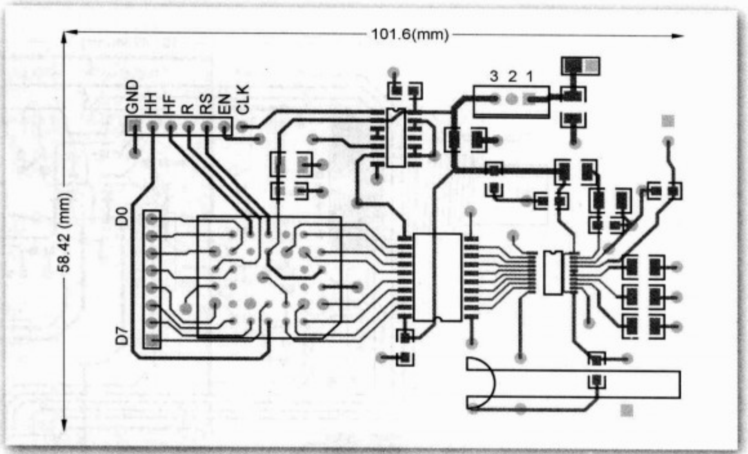


图4 高速AD转换与FIFO存储电路PCB板图

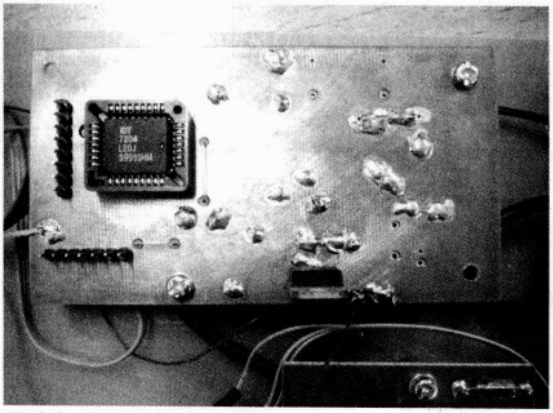


图5 高速AD转换与FIFO存储电路正面

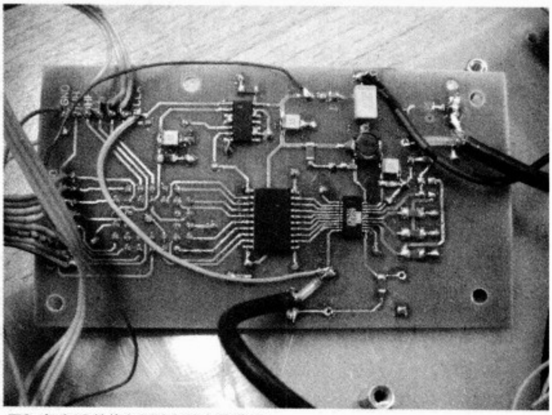


图6 高速AD转换与FIFO存储电路背面

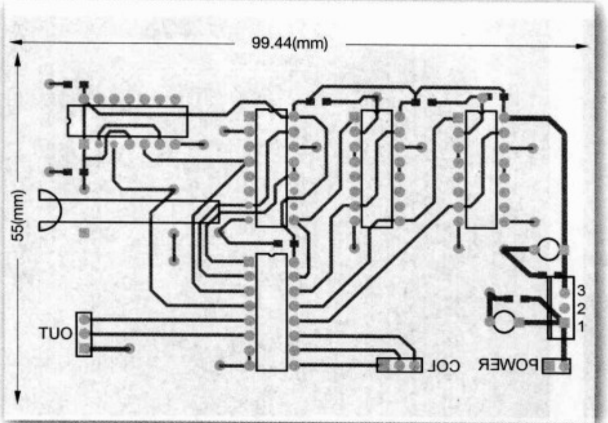


图7 时钟产生电路PCB板图

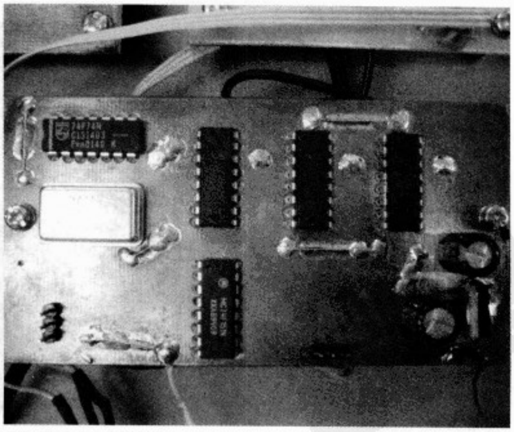


图8 时钟产生电路照片

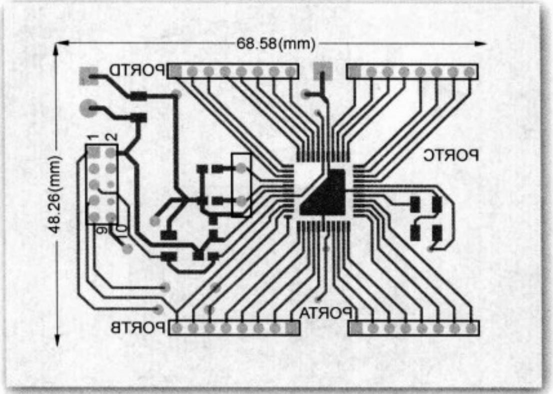


图9 MCU2控制电路PCB板图

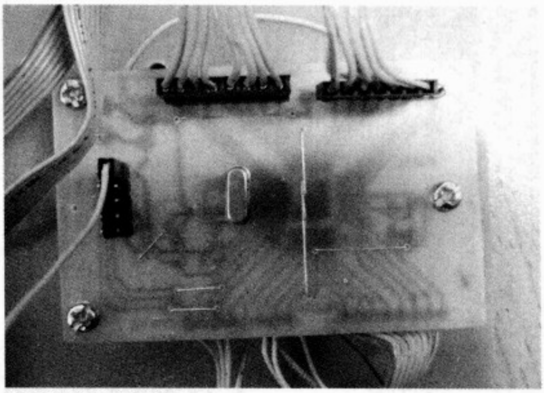


图10 MCU2控制电路照片正面

接方法相同，从图6照片中可以看出ADS830E旁边有很多松香，就是吸焊锡时残留的，虽然有些影响美观但对电路的性能没有影响，业余条件下还是可以接受的。

3. 时钟产生电路

因为时钟产生电路的工作频率高达60MHz，为使其工作稳定也使用双面板做，一面铜箔全部接地对高频信号进行屏蔽，减少辐射干扰。印制板见图7，图8为实物照片。因为该电路的最高工作频率为60MHz，一般的74LS系列或74HC系列数字逻辑电路最高只能工作在40MHz左右，不能满足该电路的要求，所以只能选用速度等级更高的74F系列和74AC系列，相对来说74F系列更好买，所以本电路中的两个与60MHz信号相关的芯片74F74和74F151都选择74F系列，AD转换电路中的与门也有可能工作在60MHz（最快的两个扫速），所以也选用了74F系列中的74F08。由于该电路板上全部为数字电路，所以只要元件选择正确且安装无误，不用调试即可正常工作。

4. MCU2控制电路

MCU2控制电路板其实就是一个ATmega32的最小系统板，板子上有复位电路、振荡器等保证ATmega32正常工作所需的基本电路和ISP程序下载接口，32个I/O口全部引出，与各部分模块相连，见整体图。图9为MCU2控制电路的PCB板，图10和图11为做好后的照片，从图10中可以看出ATmega32所使用的晶体为18MHz，如硬件电路介绍中所述用18MHz晶体是为了提高屏幕的刷新率，增强示波器的实时性。这块板子的制作没有什么特殊要求，只是焊接ATmega32时也可用焊接ADS830E的方法，就不多说了。LCD显示器引线采用扁平排线，所以要用接口连接。为了试验方便将LCD模块的接口电路

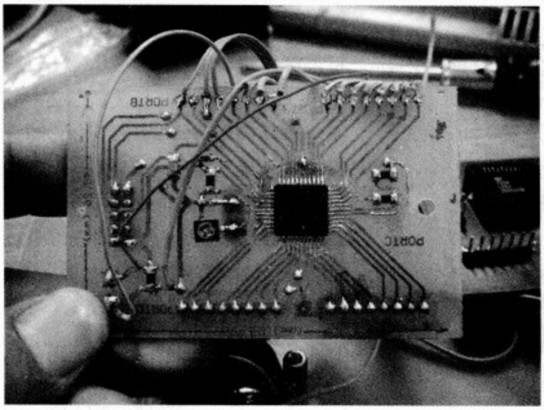


图11 MCU2控制电路背面

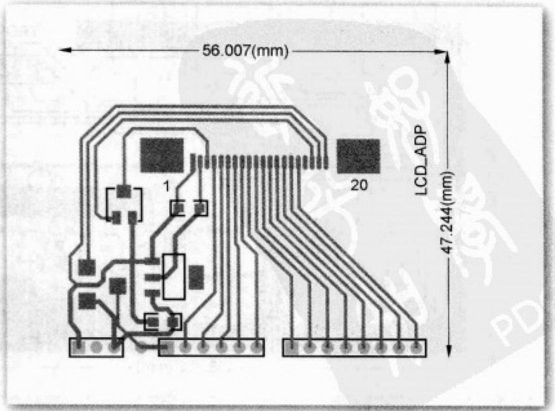


图12 LCD适配器电路PCB板图

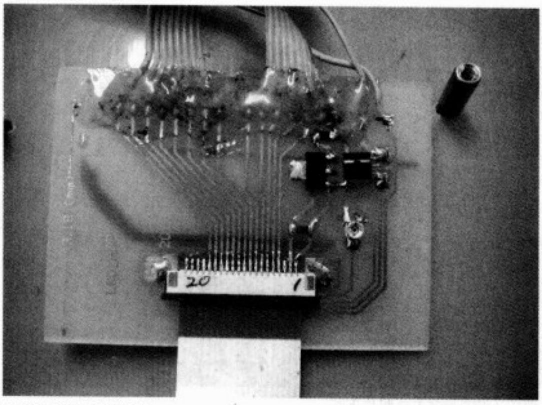


图13 LCD适配器电路

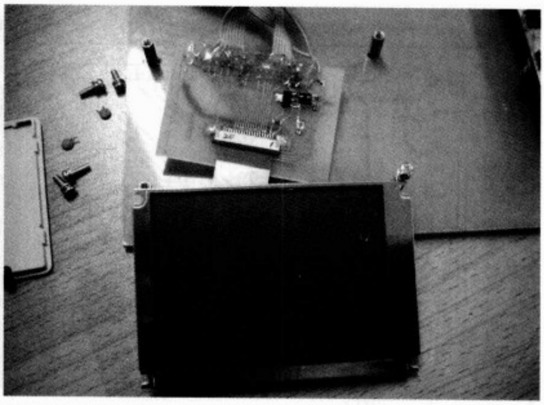


图14 LCD适配器与LCD连接

单独做成一块PCB板，没有做在这块板上，见图12。图13 为LCD适配器电路的照片。因为我做的这个示波器中的电路都是一步一步实验确定的，途中一个功能电路用好几种方案，最后确定最佳电路。所以电路都是做成模块的，这样的话便于组合实验，当确定一整套最佳方案后再将所有的模块做在一块电路板上。

图14为将LCD模块与LCD接口电路连接起来的照片，在电路都固定好之后，LCD模块的接口电路是藏在LCD模块底下的，在整体的照片中是看不到的。

5. MCU1控制电路与整形电路

MCU1控制电路的PCB板图见图15，ATmega8单片机使用双列插DIP封装，这种封装的好处是容易焊接，但占用板子的面积大，如果想要做成示波表，最好将ATmega8换成贴片封装的，以节省印制板的面积，如果要扩展更多的按键，那么最好使用一片ATmega16-16AI，因为ATmega8一共有23个I/O口，在本电路中基本将I/O口用完了，所以还是换一个32个I/O口的ATmega16比较方便，成本增加不了几块钱，当然印制板就得重新设计了。在安装这块电路板时有一个细节要注意，就是将所有元件焊完后再焊接场效应管2SK192，而且焊接时要将烙铁从插座上拔下，以防烙铁上有感应静电。因为2SK192的栅极输入电阻极高，而且结电容很小，所以一点点的静电感应就可以让结电容上产生足以击穿栅极的电压，所以在储存和焊接时要特别注意。平时存放内部没有保护二极管的场效应管时应存放在金属盒中或用金属箔包裹后存放，尤其是在空气干燥的北方。

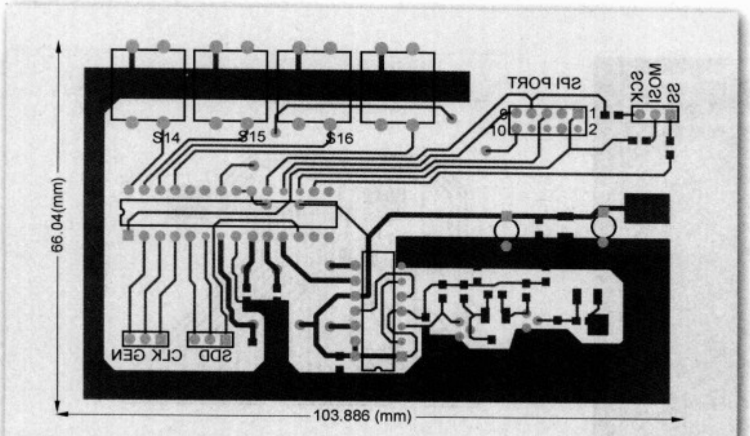


图15 MCU1及整形电路PCB板图

三 电路调试

1. 在焊接程控放大电路时先焊板上的电源部分，首先是MC34063电路，该电路只要元件选择正确一般不会出现问题，焊完MC34063部分后给电源输入端接上8V的电源，测量C51两端应为-8.3V左右，输入空载电流不超过10mA，否则应检查电路连接。测量正常后断开电源，安装LM337、LM317、LM7805以及外围元件，装好后通电，先调整负电源。调节RP3，使LM337输出端C55两端的电压为-5V，调整RP2使LM317输

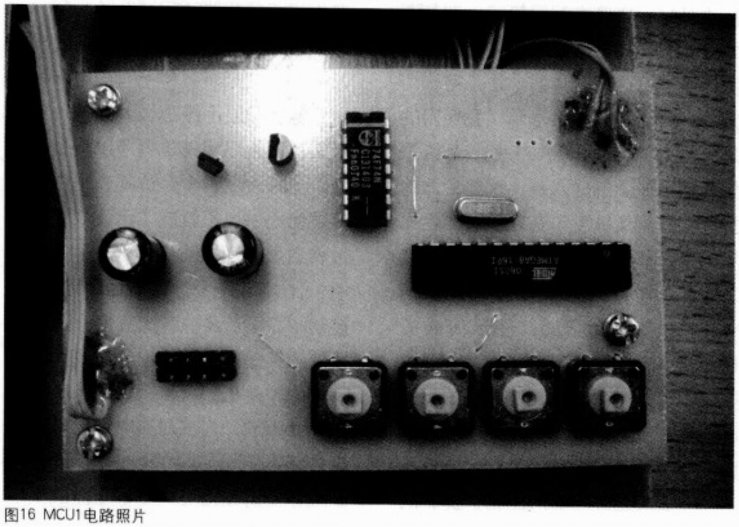


图16 MCU1电路照片

出端C46两端的电压为+5V即可，断开电源继续安装其他元件。

2. 在电路焊接完毕后，将程序分别写入两片单片机，接上显示器通电，一般显示器只会背光亮而无显示，或显示全黑点（如图17和图18所示），这是因为显示器的显示偏置电压不正常，要通过调节LCD转接板上的电位器，慢慢旋转电位器的螺口直到LCD显示正常，正常的显示应该为实测波形图那样。

3. 完成以上调整后，本示波器就能正常显示了，这一步要做的就是让它正确显示，进入示波器界面后屏幕的右边应该能看见水平扫速、电压灵敏度等各种参数，显示可能不正常但应该有显示，否则说明两片单片机之间的通信不正常，要检查三根SPI通信线是否连接正确。如果有参数显示接下来是调整示波器的基线，未调整的基线一般不会在水平中线位置，将程控放大电路的输入端对地短路，这时会在LCD屏上看到一条横线（如图19所示），如果横线在最上边或最下边说明基线电压偏离太远，这时调节程控放大器电路板上的RP1，使其回到水平中线位置（如图20所示），此时测量程控放大器的输出端对地的直流电压应为2.5V，因为AD转换器的输入电压范围为1.5～3.5V，输入幅度为$2V_{pp}$，所以基线电压应该为AD转换器的输入中点电压。在调节好基线电压后，按4个功能键看各参数的变化是否正常，否

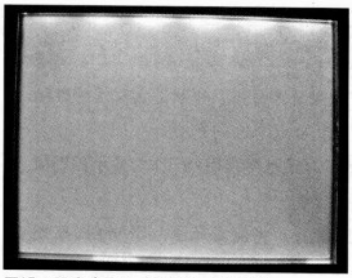


图17 LCD亮度偏置过低导致“无显示”

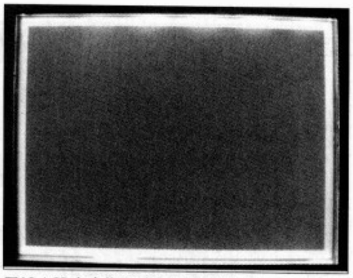


图18 LCD亮度偏置过高导致“黑屏”

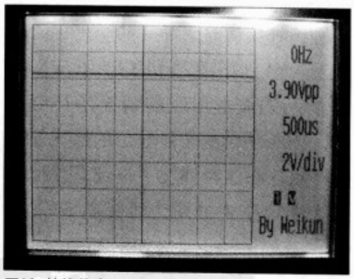


图19 基线偏离

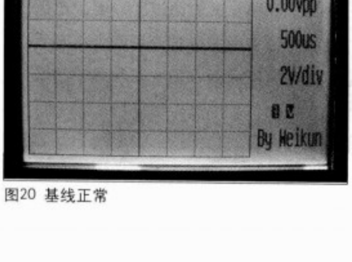


图20 基线正常

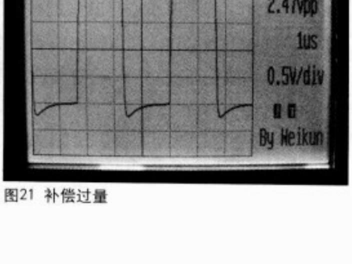


图21 补偿过量

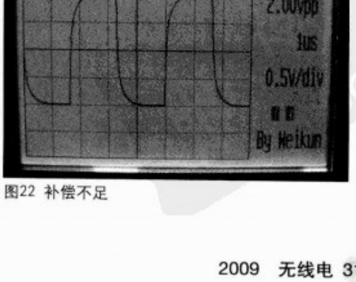


图22 补偿不足

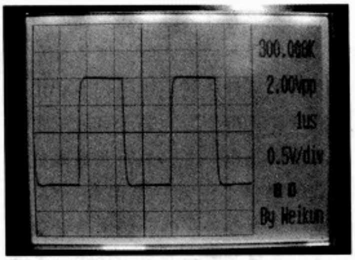


图23 补偿正常

则检查各控制线是否连接正常，我曾将控制时钟的4根线高低位接反导致屏幕上显示的最高水平扫速而实际是最低水平扫速，程控放大器也一样，接错会导致垂直电压灵敏度混乱，由于各电路板之间的连线比较多，所以在连接各块电路板时一定要细心谨防接错。

4. 在进行完上述的调整之后这个示波器就基本能够使用了，但在进行较高频率测量时（高于100kHz）还需要调整输入衰减电路中的边沿补偿电容，方法是从示波器的探头输入300kHz有效值为1V的方波信号，在未进行补偿调整之前一般会出现两种情况，分别如图21和图22所示，图21所示的波形显示的情况是补偿过量，图22所示的波形显示的情况是补偿不足，在这种情况下仔细调整程控放大器电路中的两个可变电容C2和C3，直到波形正常，如图23所示。

5. 对MCU1的振荡频率微调

这是这台示波器最后需要调整的电路了。MCU1 承担着测量频率的任务，测频的原理是数规定时间内脉冲的个数，所以这个“规定时间”就是测量频率的基准时间，它的准确性将直接影响频率测量的精度。测量频率的基准时钟由 MCU1 的晶体振荡器提供，所以在购买晶体时一定要选择质量好、精度高的优等品，在装调好其他电路后还要对 MCU1 的晶体振荡器进行微调，具体办法是用一个频率精度比较高的信号源（我使用的是一台 DDS 信号源）产生一个待测信号给示波器的输入端，调整合适的扫速和垂直灵敏度，在显示器上会显示出波形和频率值，频率值的最低位一般都是会有一点偏差的，这时微调 MCU1 电路中的 C26，使示波器的显示频率值与信号发生器的输出频率值相等即可，为了保证调整的可靠性，最好多用几个频率跨度比较大的值进行调整。

写到这里，关于这款示波器的制作已经叙述完毕了，对于这个示波器的性能我并不满足，我还会做它的第二版、第三版，有什么进展我还是会毫不保留的与大家分享，我提一些建议，也许对大家自制示波器有用：如果本电路中所有集成电路全部用小型的贴片封装，时钟产生电路的那些通用数字芯片用一片CPLD代替，继电器换用宽带的模拟开关那么这个示波器所有的电路都能做到像LCD显示器那么大的一块双面板上，因为不用继电器所以更省电，整个电路装进一个合适的壳子中用两节锂电池供电不就成了示波表吗？通过修改程序还可以加入更多实用功能，比如用一个定时器做PWM输出控制LCD显示器的背光亮度，通过扩展外部存储空间或换用具有更大容量RAM的单片机如ATmega128等实现波形存储回放，或在对实时性要求不太高的情况下对采样的数据进行FFT运算近似分析频谱等。更多功能的实现有待与广大电子爱好者的共同努力，我的这个不太完善的作品只想给广大的电子爱好者们一个信心——示波器也是可以自己做的，希望不久的将来会有更加完善与更加廉价的DIY示波器作品的出现，使每个电子爱好者都能有一台实用的DIY示波器！

后记To be continued

我想就这个示波器第二版的一些设想与大家分享分享，也欢迎大家发邮件给我，广泛交流共同学习。

1.增加波形存储功能，我正在考虑使用ARM7还是继续用AVR作为显示控制核心、继续双核心结构。

2.增加等效采样功能，提高输入通道的带宽，将测量范围从5MHz提高到50MHz，当然测量的是重复信号。

3.增加FFT功能，实现频谱近似分析。

4.提供更多的触发方式。

5.实现双通道测量。

以上几点就是我将要在第二版中实现的功能，其中的任何一点我觉得都是比较有挑战性的，但我有信心！其中的1、2、5三项我已经独立试验通过了，因为最近各科已陆续开始考试，所以暂时将实验中断，在执行完中断服务程序后我会接着我的实验。当第二版成功后，会继续在《无线电》上与大家见面，请大家和我一起努力将DIY进行到底！

示波器使用三板斧（三）

——测量MP3、MP4、MP5篇

◎黄勇　葛中海

一 MP3信号测试

1．MP3概述

MPEG（Moving picture experts group）是“运动图像专家组”的意思。这一小组于1988年5月由国际标准组织ISO和国际电工委IEC组成，制定活动图像及伴音的压缩标准，经过4年多的工作，于1992年11月制定出标准号为ISO11172的国际标准，这就是MPEG-1标准，即连续动态图像及伴音编码、压缩和传输的规格标准。

MP3是MPEG layer 3的英文缩写，意为MPEG第三层的音频编码、压缩和传输格式。

早期的MP3机内存小且只能播放MP3格式的音频信号，后来又出现WMA格式，它的全称是Windows Media Audio，是微软公司推出的与MP3格式齐名的一种新的音频格式。为了兼容这种音频格式，MP3机也不得不随之进步，但仍叫MP3机，以下简称MP3。

MP3的工作原理可以概括如下：首先将MP3歌曲文件从FLASH存储器中读取压缩的数字音频信号→（到解码芯片对信号进行解码→通过数模转换器将解出来的数字信号转换成模拟信号→再对转换后的模拟音频信号功率放大）→耳机输出或音频功率放大→扬声器（由于驱动扬声器要较大的功率，所以扬声器驱动电路一般是独立的），输出后就是我们所听到的音乐了。

上述括号中的功能单元，早期是由独立的集成电路分别工作，到如今已全都集成在一起，所以才会这么小巧，如图1的MP3和U盘相差无几。

图1 小巧的MP3和U盘相差无几

图2是某公司出品的一款MP3电路板图，图右下角USB接口旁有两条导线是锂电池的供电导线。主CPU采用珠海炬力公司的ATJ2091（或ATJ2111），该方案整机架构如图3

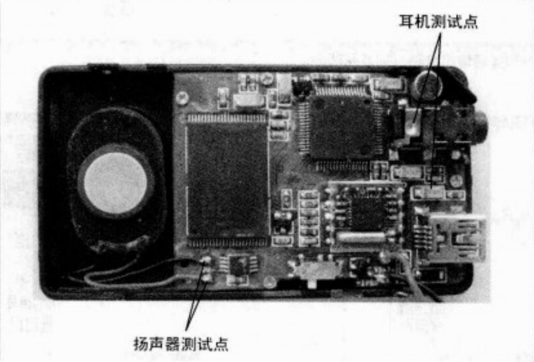


图2 某公司一款MP3电路板图

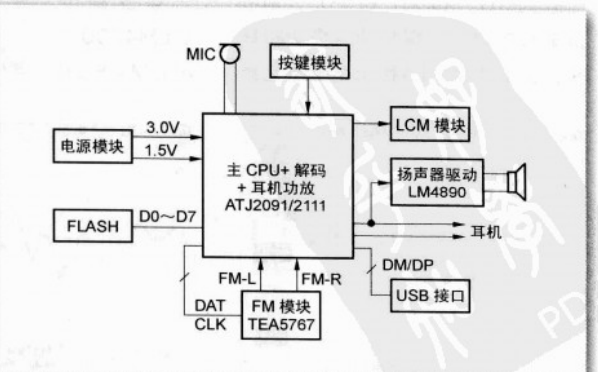


图3 ATJ2091/2111方案MP3整机架构

所示。

2．MP3架构及相应信号测试

图3整机架构围绕主CPU（ATJ2091/2111）构成，外围共由8大模块组成，它们分别是MIC输入模块、人机接口按键模块、LCM显示模块、扬声器驱动模块、USB接口、FM收音模块、FLASH模块和电源模块。

下面对有关音频信号进行测试和说明（除非特别说明，以下测试都是用“自动量程”）：

（1）MIC输入模块

该机具有录音功能（类似复读机），信号由MIC输入。一般来说，由于MP3体积的限制，MIC大都采用微型的驻极体型号，它们的特点是体积小、灵敏度高。由于人声是不规则信号，所以先“自动量程”调试示波器，然后手动调整“垂直衰减”和“时基挡位”，测试信号波形见图4。

（2）耳机输出

ATJ2091/2111内含耳机功率放大，分别由第8、9脚输出音频AOUTL（左声道）和AOUTR（右声道），经电容隔直耦合输出，如图5所示。其中R35（20Ω）和C30（103）、R36（20Ω）和C31（103）分别组成茹贝尔电路，保护功放模块和耳机、消除干扰。L4和L5是磁阻元器件，以满足EMC测试需要，L6也是磁阻元器件，对音频信号它相当于导线，对高频无线电波它相当于很大的电阻，所以才可作为FM的天线FM_ANT。耳机输出实测波形见图6（测量设置同“MIC输入波形”）。

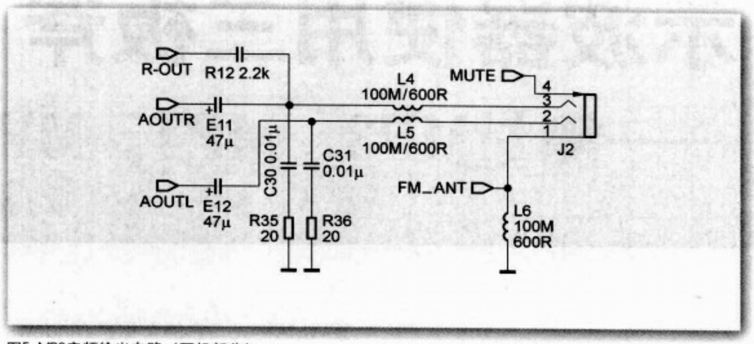


图5 MP3音频输出电路（耳机部分）

（3）扬声器驱动模块

前面说过，由于驱动扬声器要较大的功率，所以扬声器驱动电路一般是独立的，本方案采用美国国家半导体公司的LM4890，厂家为了降底成本，一般用LM4890的代用品！

把AOUTR一条支路分到LM4890，经LM4890放大驱动扬声器（接线端SPR+和SPR-），如图7所示。由于LM4890接成BTL输出（没有地线），测量时必需把示波器并接在扬声器两端。测试信号波形见图8（电压放大倍数过大，上下顶出现削波失真，测量设置同“MIC输入波形”）。

需要说明的是：MIC插座有一个检测端MUTE，一旦耳机插入，MUTE变为低电平，该端低电平使LM4890

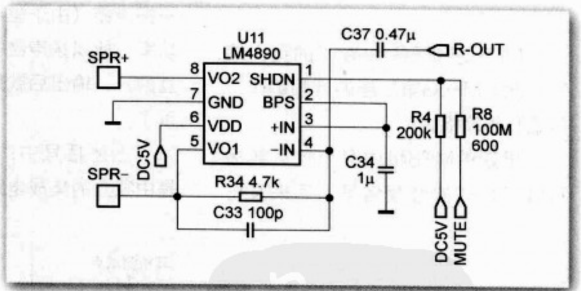


图7 MP3音频输出电路（扬声器部分）

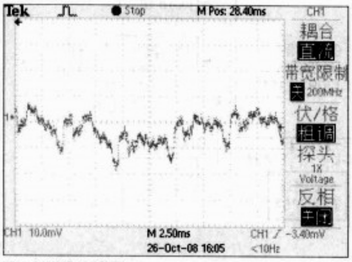


图4 MIC输入波形

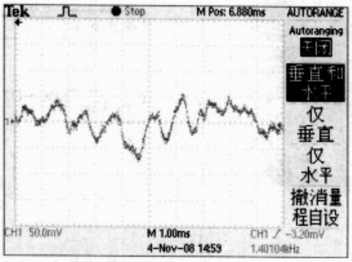


图6 耳机输出波形

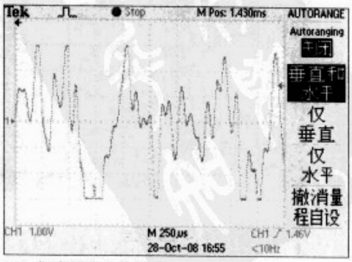


图8 扬声器输出波形

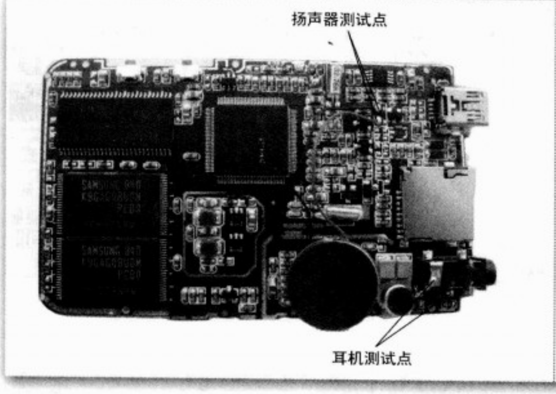


图9 某公司一款MP5电路板图

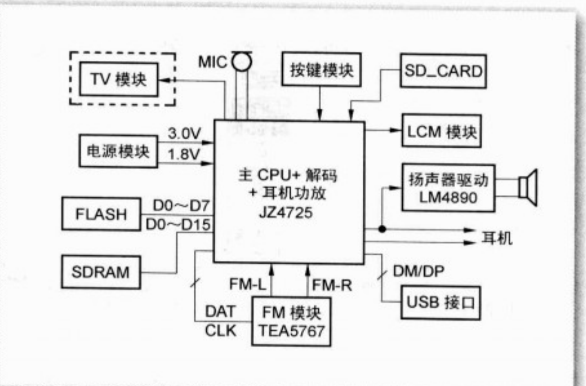


图10 JZ4725方案MP5整机架构

静音，从而降低整机功耗。

二 MP4、MP5信号测试

1．MP4概述

MP4只支持AVI和MP4两种格式的视频文件。

目前市场上出现了能支持多种格式视频文件的“MP5”机，它是由国内科技厂商自行开发出的演算法（顺沿MP4的叫法而称MP5，国际上并无此标准），具有很高的协同性和扩展性，支持多种格式，比如avi、asf、dat以及网络资源丰富的rm、rmvb等。

如图9为某公司一款MP5电路板图。

2．MP5架构

图10整机架构围绕主CPU（JZ4725）构成，外围共有11大模块组成，它们分别是MIC输入模块、人机接口按键模块、SD卡接口、LCM显示模块、扬声器驱动模块、USB接口、FM收音模块、SDRAM、FLASH模块、电源模块和TV模块。和图3相比读者会发现除了主CPU变了之外，整体架构只比MP3多了SD卡接口、SDRAM和TV模块（该模块并非必选项）。

3．音频测试

（1）普通音频输出

JZ4725的88、90脚输出经其内部功率放大，然后输出音频信号到耳机，实测波形见图11。

为了对比MP5硬件和电脑软件解码的效果，让MP5和电脑播放（用Windows Media Player播放器）同样的信号，然后用耳机线（把完好的耳机剪掉，只留线用）引出音频输出信号，用数字示波器分别测试，以图示的形式对比展示给读者。

（2）20Hz 正弦波信号（WAV 格

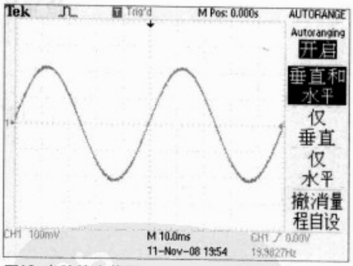


图13 电脑输出信号

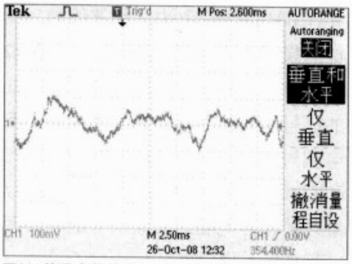


图11 普通音频输出

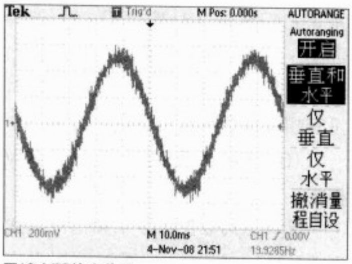


图12 MP5输出信号

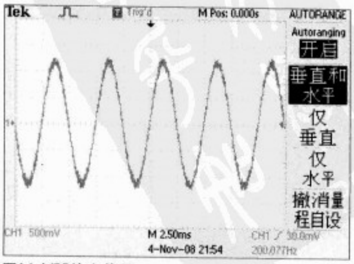


图14 MP5输出信号

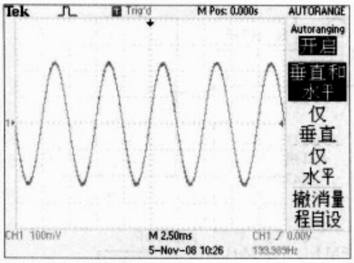


图15 电脑输出信号

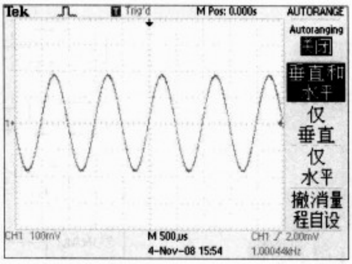


图16 MP5输出信号

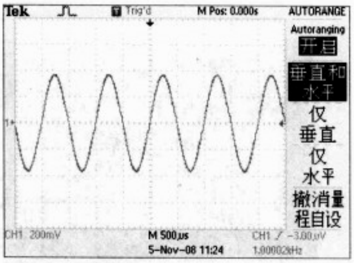


图17 电脑输出信号

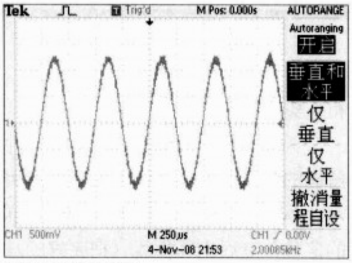


图18 MP5输出信号

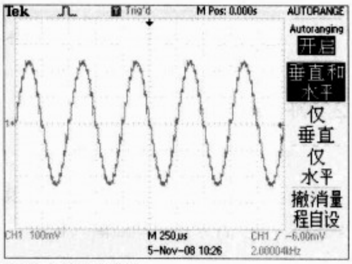


图19 电脑输出信号

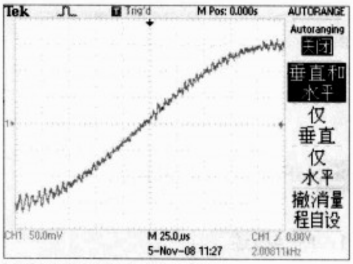


图20 MP5输出信号（展开波形）

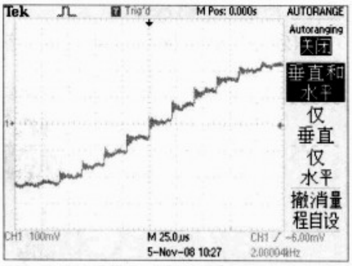


图21 电脑输出信号（展开波形）

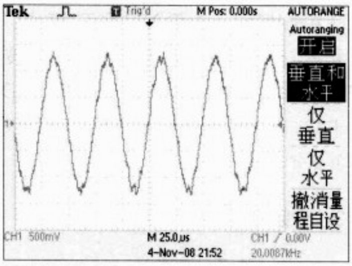


图22 MP5输出信号

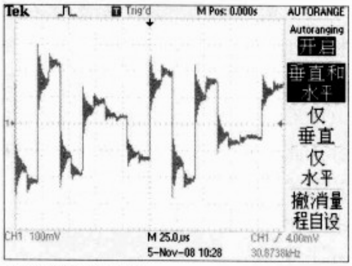


图23 电脑输出信号

式，下同）

实测20Hz正弦波单频信号，波形如图12、图13。

（3）200Hz 正弦波信号

实测 200Hz 正弦波单频信号，波形见图 14、图 15。

（4）1kHz 正弦波信号

实测 1kHz 正弦波单频信号，波形如图 16、图 17。

（5）2kHz 正弦波信号

实测 2kHz 正弦波单频信号，波形见图 18、图 19。图 20、图 21 分别是它们展开（时基 25.0μs）的局部图，从图中可以清楚看出电脑输出的“台阶”信号——这是 DA 转换时没有超取样数字滤波导致的结果！

（6）20kHz 正弦波信号（WAV 格式）

实测20kHz正弦波单频信号，波形见图22、图23。从图23可以看出20kHz已不能正确还原了。

另外，用MP5和电脑播放MP3和WMA格式的20kHz正弦波信号，测试结果同上。也就是说MP5对20kHz正弦波信号WAV、MP3和WMA格式的信号解码基本一样，效果尚好；而电脑对20kHz正弦波信号WAV、MP3和WMA解码信号解码基本一样，效果较差。但电脑对低频信号的解码同MP5基本一样。

三种音响电源的对比测试

◎牛歌

一 电源部分在音响系统中的重要性

电源部分是整个音响系统的基石。系统中的各种电路，归根到底都是电源的调制器，对原始信号进行各种各样的变换处理后输出。其能量都由电源提供。电源供电的质量，直接决定着整个系统的最终性能级别。在发烧友的实战中，电源的重要性已经被越来越多的人所认识，电源部分在整个系统中的地位和造价也在不断升高。但各种电源之间究竟有多大区别呢？

在功放中，由于功放的大功率、大动态特性，通常采用简单的线性电源，即工频变压器加简单的整流滤波电路后供电路使用。只有要求高的场合才对电压放大级以前进行稳压供电，个别电路会连推动级也稳压供电，但末级采用稳压供电的就极其罕见了，只出现在个别Hi-End级别的器材和单端甲类功放中。

近年来，开关电源越来越多地受到关注，与D类功放相互呼应，被称为未来功放的理想电源。但开关电源使用起来究竟表现如何？这在不少人心里还是一个疑问。实践已经证明，普通工业用的开关电源并不适合直接套用在音响之中，由于设计需求与音响相差甚远，工作频率偏低，其表现不尽人意。那么，专门为音响设计的开关电源又如何呢？

下面结合本人制作功放中的一次实践，简单地探讨一下各种电源的基本性能表现。

二 三种参测电源介绍

1. 工频电源（工频变压器＋整流滤波）

音响中最常见的电源一般由工频变压器配合整流和滤波元件组成。常用的变压器从磁路结构上看主要的有E型、环型、C型和R型,见图1～图3。目前功放中流行的是环型变压器，俗称环牛，但由于从外面看不到铁芯，因此外表上很难直接判断品质高低。市面上环牛的质量参差不齐，很多售品都是虚有其表，看起来非常雄壮有力，实际使用效果却很差。而E型、C型和R型变压器由于铁芯外露，品质如何比较容易把握。特别是C型和R型变压器，由于铁芯制作工艺较为复杂、整体造价较高，所以基本上都是

表1 工频变压器主要参数

名称 \ 项目	三维尺寸（mm）	重量	各绕组直流电阻和空载输出交流电压	标称功率	空载电流
E型变压器	96×84×100mm（铁芯96×80×46mm）	2800g	初级：9.1Ω 次级：0.7Ω＋0.7Ω（36.8V＋36.8V）	150VA	76mA
C型变压器	103×78×111mm（铁芯截面40×20mm）	2600g	初级：6.0Ω 次级：0.2Ω＋0.2Ω（33.3V＋33.3V）	230VA	59mA
环型变压器	125（外径）×50（内径）×60（高）mm	3500g	初级：4.7Ω 次级：0.2Ω＋0.2Ω（36.4V＋36.4V）	250VA	42mA
R型变压器	145×84×180mm	5500g	初级：2.3Ω 次级：0.2Ω＋0.2Ω（34.8V＋34.8V）	600VA	19mA
备 注	次级电压与空载电流均在输入交流电压实测为232V时测得				

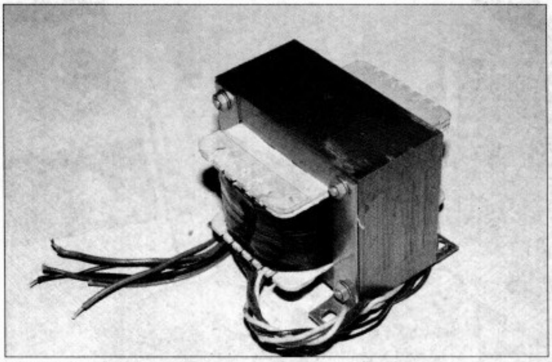


图1 E型变压器

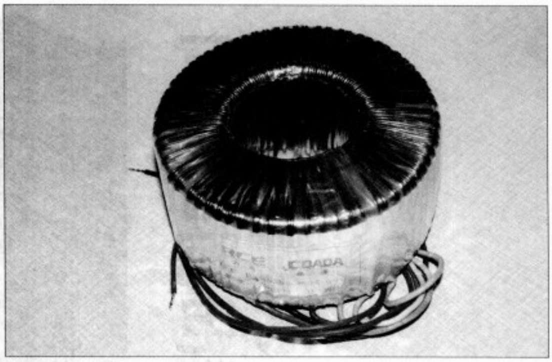


图2 环型变压器

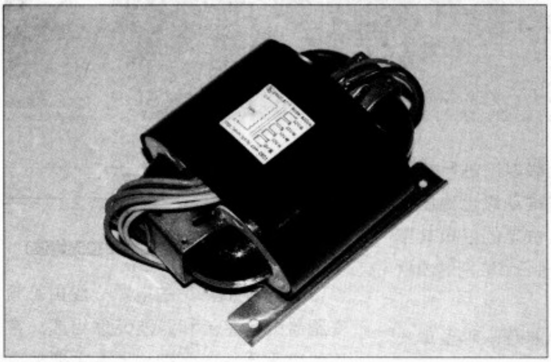


图3 R型变压器

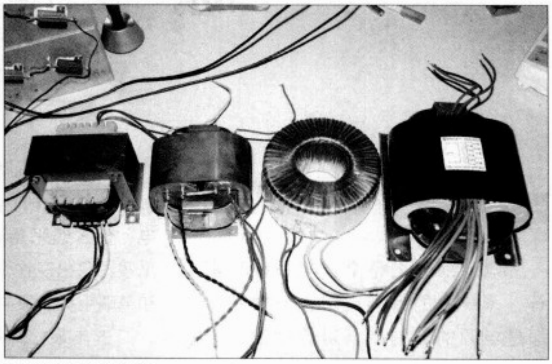


图4 工频变压器合集

精品。这次测试一共选用了4台不同结构的变压器，见图4，它们功率大小各异，次级输出组数与电压各不相同，但次级主输出电压较为接近，基本上涵盖了音响爱好者制作功放时常见的选择。

各工频变压器的主要参数见表1，为了列表方便，对次级小电流绕组的数据加以省略，实际测试时也只测试主绕组。

顺便说一下，判断变压器的质量可以从绕组的直流电阻和空载电流来进行，一般绕组的直流电阻越低，空载电流越小，变压器的质量也越好。

整流滤波电路有2种：一种是35A铝壳方桥配2只10000μF/63V大电解；一种选用了规格较高的配置：25A的进口扁桥负责整流，滤波电容采用90个220μF/63V松下音频专用高整电解并联，总容量达到19800μF（见图5）。多个小电解的并联大大降低了滤波电容的等效电感，增大了滤波电流，使整流滤波电路的电流输出能力和高频响应得到了很大的改善。实测时主要使用后一种配置进行。

2. 开环式开关电源

该电源使用SPM系列开关电源驱动模块，见图6。据厂家介绍，该产品具有以下优点：

（1）半桥开环式开关电源，效率>90%，自然冷却，无需外加散热器。

（2）无反馈，瞬间可提供额定电流5倍以上的电流，非常适合大功率的功放，完全替代工频变压器。

（3）振荡频率为40kHz占空比为50%的矩形波，轻松通过EMC测试。

（4）变压器设计简单，一致性好，稳定性高。

（5）外围元件极少，安装空间小，PCB可以做到与同等功率的变压器的安装尺寸一样，老产品无需更改结构设计，直接更换电源部分。

（6）成本低，整块电源板成本不到同等功率的环形变压器电源的50%。

该电源采用半桥式驱动，工作于开环状态，重量约700g。厂家标称功率500W，连续EMS功率不小于400W。采用了标准化设计，可以通过更换驱动模块、主变压器和功率管、电容等相关元件方便地调整输出功率和电压等参数，厂家提供电压、功率定制业务。PCB尺寸为140mm×120mm。有多组输出电压，双60V/0.5A（供功放前级使用），双40V/6A（供末级使用），双15V/1A（供前级使用），单18V/0.3A（供保护电路使用）。工作频

表2 开环式开关电源主要技术参数

项目	参数	
输入电压V_i	100~120VAC/200~240VAC	+/-10%
输出电压V_o	空载 ±55V DC	负载6A, ±50VDC
	空载 ±35V DC	负载5A, ±30VDC
	空载 +15V DC	负载0.5A, 14.5VDC
	空载 ±15V DC	负载0.5A, ±14.5VDC
效率	输入电流4.45A@230VAC/50Hz	90%
纹波电压V_p		<200mV
空载电流I_{op}		0.03A@230VAC
最大峰值电流I_p	SPM2000（500~1000WRMS）	30A
正常工作温升T_i	带同等功率功放音乐功率满载（900W）工作时间>4h	散热器温度<95℃（室温25℃）
极限工作温度T_{over}		<150℃
工作环境温度T_{stg}		-22℃~75℃
存储温度T_a		-55℃~150℃

率约40kHz，采用双面PCB，结构紧凑精练，通过了EMC测试。厂家声称专用来替换环牛，由于是开环方式工作，其实际表现与环牛类似，无保护，但有一定的短时过载能力，最大瞬时输出电流可达30A。零售价约110元。

厂家给出的样品参考技术参数见表2。

电路图和详细参数可到www.radio.com.cn下载。

3. 开关稳压电源

该电源为原武汉天龙公司的产品，见图7。型号是DNC-450A，重量约1100g，半桥式驱动。电源设计紧凑合理，带有全功能保护电路，工作频率100kHz，使用内环检测电路，反应速度快。副电源输出为双24V，无保护功能；主稳压输出可以在35~45V范围内连续调节（测试调整为双44V），可以输出6A电流，超过7.5A电源自动保护，输出被切断，过流消失后电源自动恢复工作。

电源的主要技术指标见表3。

电源的工作原理图可到www.radio.com.cn下载。

表3 开关稳压电源主要技术参数

项目 \ 型号	DNC-450A
输出直流电压与电流	主：±35~±45V（0~6A） 副：±24V（0.7A）
额定输出功率	450W
电压稳定度	<0.2%（电压波动 AC220V±20%）
负载稳定度	<0.2%（由空载至满载）
输入纹波电压	<100mV（Vp-p）
效率	>85%
过流保护	7.5A
输入电压范围	AC170~280V，50Hz
电磁兼容性能	与功放机及其他音响设备完全兼容
绝缘电阻	100MΩ
抗电强度	1500V，50Hz，1分钟无放电、击穿
空载功耗	<3W
可靠性能	经老化实验，平均无故障工作时间>40000小时
体积（长×宽×高）	202×102×65(mm)
重量	1100g

顺便说一下，这个是老款，采用的是板式结构。当年曾非常抢手。笔者于十几年前购入，一直使用至今，表现稳定，性能一直令笔者满意。现在最新的产品已经将主频提升到120kHz，并采用了壳式结构，进一步提升了性能，改善了电磁屏蔽性能。

三 测试的平台与方案

测试分为静态测试和动态测试两个内容。

1. 静态测试

主要测试静态条件下电源空载和接稳定电阻负载时的电源电压和纹波，使用YB4365型双踪100M示波器、泰克（Tektronix）的2261双踪20M示波器和THX730A型200M数字示波表对电

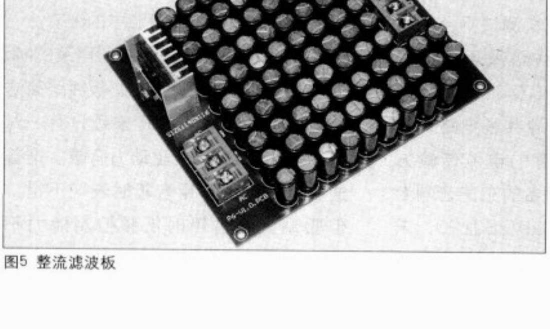


图5 整流滤波板

图6 开环式开关电源

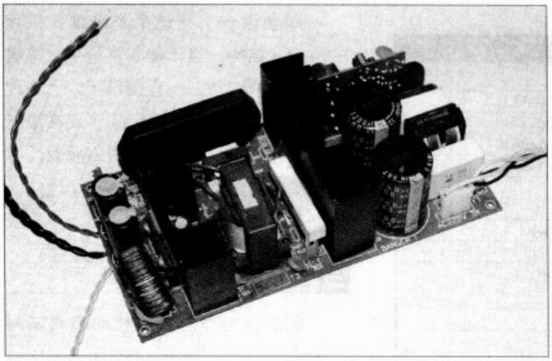


图7 天龙开关稳压电源

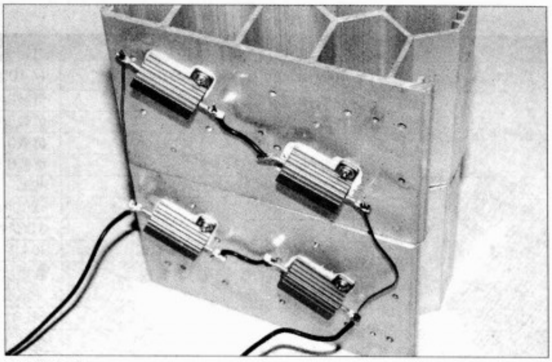


图8 假负载

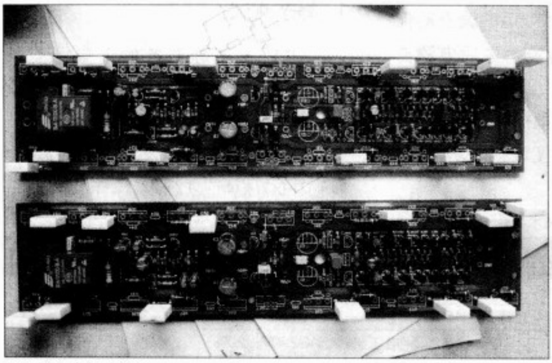


图9 夏文卡顿功放板

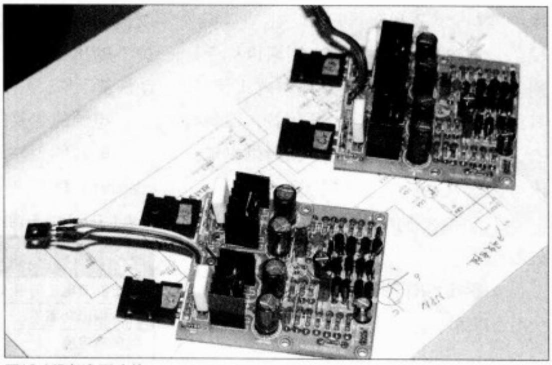


图10 M5电流型功放

源电压和波形进行观察和测量。

测试时使用大功率电阻作负载，分为轻载和重载测试。轻载测试使用200Ω纯电阻负载。接于上述电源单侧时电流约220mA，功耗约10W，这个电流与不少功放双声道的总静态电流接近，可以很好地模拟功放静态时电源的工作状态。

负载接于单侧电源时测试电源的电压和纹波可以从侧面反映正负电源端负载不平衡时电源的表现。

负载跨接于正负电源两端时，电源的电流达到400mA，功耗达到约40W。可以模拟较重的平衡负载时电源的表现。

重载测试使用4只DALE的25W/20Ω两两串联后再并联，构成20Ω/100W的负载，接于单侧电源时电流达到2A以上，跨接于双侧时负载电流超过4A，可以模拟功放在满功率输出时电源的工作状态，见图8。

2. 动态测试

主要使用自制的功放板进行实际试听对比。通过主观试听对比各种电源的实际表现。

使用的功放板有两种：

第一种为刚为友人装好的夏文卡顿2代改进功放，见图9。这个功放板套件在网上颇受好评，具有相当好的素质，用来作这次测试平台的功放部分胜任愉快。线路采用的全对称场效应管（K170/J74）输入，与A970/C2240组成共源共基电路。第二级是夏文卡顿特有的电流传输方式；推动级采用了著名的东芝音响专用场效应对管2SK1529/2SJ200，末级由6对东芝音响专用大功率双极管2SA1943/2SC5200并联工作，采用了独具特色的动态甲类偏置，并使用了光电耦合器来稳定静态电流。每声道的静态电流设定在约500mA，平均每管约80mA，正好处在A1943/C5200的最佳偏置范围。板上所有管子均经过精密配对，小功率管1%～3%，大功率管5%，音频通道内全部使用了DALE、AB、光音等优质电阻来较声，所有电容也颇具素质。实际试听该线路全频平衡，音色偏暖，动态庞大，解析力很高，能够轻易听出节目源中的细节。

另一种功放板为同事所组装的M5电流功放板，见图10 ，此板线路简洁合理，分析力较高，但末级只有一对SA1942/SC5200，驱动力有限。推普通高灵敏度的家用音箱时表现不错，但驱动大食音箱时低频控制能力不足，低音动态压缩，比较软。由于该

表4 静态测量实测数据

测试项目 / 测试对象	输出直流电压(V)/纹波电压（Vp-p）				
	空 载	轻载1（单侧200Ω）	轻载2（双侧跨接200Ω）	重载1（单侧20Ω）	重载2（双侧跨接20Ω）
E型变压器	48.9V/2mV 48.9V/2mV	46.9V/250mV 49.0V/8mV	45.1V/450mV 45.1V/450mV	40.3V/1300mV 49.1V/32mV	34.7V/1900mV 34.7V/1900mV
C型变压器	43.9V/2mV 43.9V/2mV	42.4V/250mV 44.3V/8mV	42.2V/400mV 42.2V/400mV	38.8V/1300mV 45.4V/36mV	36.6V/2300mV 36.6V/2300mV
环型变压器	48.0V/2mV 48.0V/2mV	46.7V/220mV 48.3V/8mV	45.5V/390mV 45.5V/390mV	43.7V/1500mV 48.6V/28mV	40.1V/2500mV 40.1V/2500mV
R型变压器	45.8V/2mV 45.8V/2mV	45.1V/200mV 46.0V/8mV	44.4V/390mV 44.4V/390mV	42.3V/1500mV 45.9V/35mV	40.3V/2900mV 40.3V/2900mV
开环开关电源	43.4V/20mV 43.4V/20mV	42.5V/200mV 43.0V/100mV	41.7V/300mV 41.7V/300mV	40.8V/700mV 42.6V/120mV	38.5V/1800mV 38.5V/1800mV
天龙开关稳压电源	43.9V/50mV 43.9V/50mV	43.8V/60mV 44.1V/50mV	43.8V/70mV 43.8V/70mV	43.6V/100mV 44.3V/70mV	43.8V/250mV 43.8V/250mV
备 注	所有测试均在输入交流为232V时得到				

板正好也在安装调试，所以也客串测试了一下。

测试主要采用夏文卡顿2代功放板进行，对M5也进行了试听比较。

音箱：惠威经典的杜希2.1。众所周知，此音箱的低音单元是著名的D6，其75mm的大音圈带来的超凡的动态感，口径只有6英寸的低音可以发出超越许多8英寸单元的澎湃低音，同时86dB的低灵敏度对功放的要求也很高，也是出了名的难推。选择这个推好颇有难度的音箱，也是为了拉开各电源表现之间的差距。夏文卡顿2代功放板的素质是有保证的，剩下的就看电源的表现了。

试听曲目：蔡琴《民歌蔡琴》XRCD版本；老鹰乐队《加州酒店》。

惠威试音碟系列。

雨果发烧碟系列。

四 测试过程

1. 静态测量

实际连接时为了规范和方便，使用了2个优质的10位汇流排来进行连接，使用双踪示波器同时接在输出正负电源端，实时监测电源的纹波，同时使用数字万用表测量电源在不同负载状态下输出电压的有效值，见图11～13。

测试结果见表4。

测试分析：

从波形上看，工频电源的纹波是典型的整流滤波电路的充放电波形，为不对称圆角三角波，见图14，频率为100Hz；开环式开关电源输出纹波上有较明显的高频尖峰（80kHz），虽然幅度不大，但波形非常尖锐，包含了大量的高频谐波成分。根据笔者的经验，这种谐波很难通过后面的电容简单滤掉，而且在重负载下明显增大，多少会对功放的音质产生不良影响。天龙开关稳压电源在高频谐波成分的过滤上做得明显好一些，纹波尖峰不明显（约200kHz），整体还是比较干净，而且超高频成分的幅度非常小，大概只有20mV，波形展开后与正弦波非常接近，见图15。要说这么高频率和小幅度的纹波对音质有明显的可闻影响，笔者觉得还是心理因素吧。由于采用的是统一稳压的方式，在负载不对称时正负电源会出现微小的不对称现象，即电源的中点会出现一些波动，这是值得改进之处。

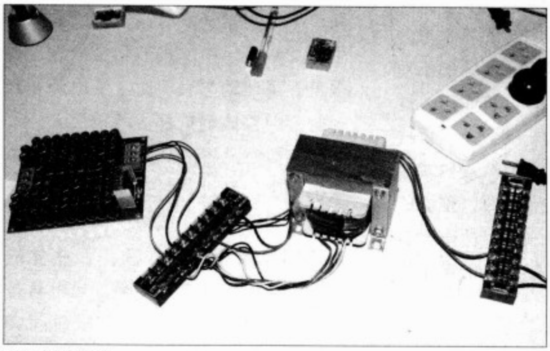


图11 测试接线

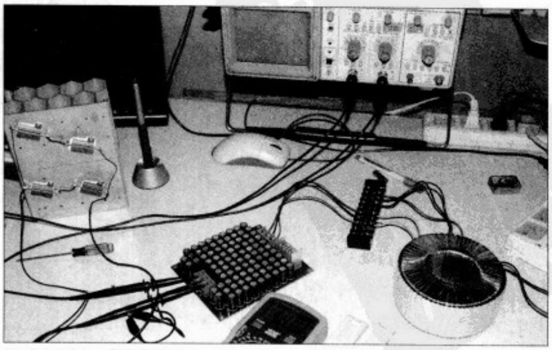


图12 环型变压器测试现场

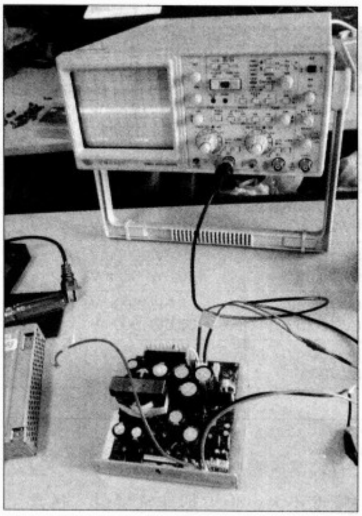


图13 测试开环式开关电源

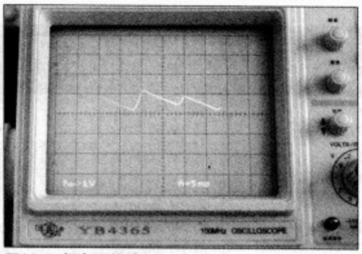


图14 工频电源纹波

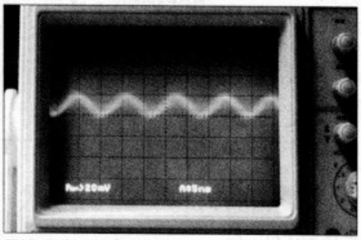


图15 天龙开关电源纹波

测试中发现，多个小电容并联的滤波方式与单个大电容相比有着明显的优势，最直接的表现是纹波电压明显要低一些，这应该是小电容并联的内阻明显较低，充放电的过程更为顺畅所造成的。

测试中还有一个有趣的现象：越是功率大的变压器，在重负载时电压下降越小，但相应的纹波却要大一些。这是因为大功率变压器的内阻较低，能够提供更大的充电电流，充电速度更快，锯齿波前沿较陡，波形幅度较大；小功率的变压器则刚好相反，充电速度较慢，锯齿波前沿较缓，波形幅度反而小一些。

20Ω的重载测试对于参测的小容量变压器来说，是非常重的负载，接于单侧时输出功率就接近100W，跨接于双侧时高达300多瓦，除了600VA的R牛外，另外3个变压器都处于严重的过载状态，一方面说明传统工频电源具有短时过载能力强的优势，另一方面说明在要求较高的场合，双声道功放在±45V的供电条件下，使用250W以下的变压器统一供电是有些勉强的，会影响功放大动态的输出能力。

2. 动态测试

由于条件有限，动态测试主要采取主观听音的方式进行，同时利用示波器对电源电压波形进行动态监测。试听重点比较各款电源在信噪比、动态表现和解析力方面的区别。

(1) 工频电源

工频电源分别测试了单桥式整流、双桥式整流下的表现。

工频电源在接单桥式整流方式时，由于夏文卡顿功放板静态电流达到500mA，算是比较重的负载，接入后在功放的输出端可以明显检测到噪声输出，接上音箱后也有明显的底噪。

采用双桥式整流后情况大为改观，只能听到一点不明显的热噪声。证明双桥式整流对于降低电源的不对称所造成的地线噪声有显著作用，这也是目前主流功放清一色采用双桥式整流方式的主要原因。虽然双桥式整流多付出了一倍的整流元件，整流的压降和内阻也稍有增大，但所得明显大于所失，对于提高整机的信噪比极为有利。

工频电源的声音表现四平八稳，非常温和，全频表现比较平衡，对于音乐的气氛渲染得很充分，是一种令人久听不厌的风格。由于高低音延伸稍有不足，中频稍为突出，听感非常讨好。但整体的解析力尚有不足，音乐中的很多细节听不到或无法清楚地交待，感觉有点“蒙”。小电容并联的效果比单个大电容有不小的改善，但仍不能令人满意。电源电压会随着音乐信号上下波动，在大动态来临时，声场显得有点乱，电源电压跌落明显，最大时将近10V。由于滤波输出的电压是交流的峰值电压，是有效值的1.4倍，在大功率输出下其输出的波动是不可避免的，应用大功率的变压器和大容量的“水塘”滤波只能部分缓解，却无法根治。相应的对于低音的控制力比较有限，大动态表现有较明显的压缩感。由于变压器容量较小，采用的整流桥和滤波电容并非补品，滤波电容的容量也只有10000μF，对工频电源不太“公平”，其对声音的表现受到了一定的局限，但整个声底基本反映了工频电源的特点。如果换用更大容量的变压器，使用补品级的整流元件和滤波电容，声音应该还会有大的提升，只是成本也会直线上升了。

(2) 开环式开关电源

由于工频电源和天龙开关稳压电源都曾长时间使用，已经处于良好状态（俗称已煲透），而开环式开关电源是新购的，估计一开声会有些生硬。果然，刚开声时其音质明显比较生硬，对音乐中的细节和余韵表现得很差，虽然动态表现比工频电源要好一些，但整体气氛表达差距很大，没有那种自然从容的感觉，让人听起来很不舒服。经过一段时间的热身，声音逐渐变得舒展，低频变得松软了一些，细节表现也有提高，但整体的表现仍不如工频电源平衡，显得有些“冲”，也许再多使用一段时间会有更好的表现。由于是开环工作，没

有稳压功能，电源电压也随着音乐信号上下波动，但波动的幅度明显小很多，最大约2V。

(3) 天龙开关稳压电源

这个电源笔者已经使用了很长时间，对它的表现心中是有底的。果然，一通电该电源就表现出明显优势。首先是信噪比极高，音量开到最大，贴近扬声器时只能从高音单元里听到一丁点热噪，而低音单元则静如深海，听不到一点声音。100kHz的工作频率使电源的内阻极低，能量供应速度极快，试音时同等音量下仿佛加了等响度一样，高音和低音的表现明显更胜一筹。两端的延伸更加充分，全频的能量感很好。对D6单元的控制力大为改观，音乐中很多细节玲珑浮凸，解析力上了一个大的台阶。乐器的余韵、空间的残响、歌者的吐字换气都表达得活灵活现。特别是大动态的表现稳如泰山，就好像音量提升了3dB一般，没有一点压缩的感觉。与工频电源相比，音色比较清丽，显得偏“冷”一些。电源电压非常稳定，基本看不出来波动。

试音完成后，笔者将夏文卡顿功放装箱，并使用了新购的天龙公司的新旗舰——DNC－1060SG来供电，该电源工作频率为120kHz，采用壳式结构，提高了安全性和屏蔽性能。将电源电压调整到双60V，在高电压状态下，凭着1000W的能量供应，夏文卡顿功放的声音又有了一定的提升，令笔者非常满意。

五 最后的结论

理想的电源应该是电压恒定不变，不论接何种负载时均保持稳定的电压输出，纹波为0，在不同频率、不同负载下的表现始终如一。现实中这样的电源当然是不存在的。评价一个电源的优劣，可以从接入不同负载时的电压保持能力，纹波电压的大小，不同频率下的特性表现去综合衡量。由于水平有限，笔者的测试比较简单，特别是主观测试，由于不同的人对于音色的判断取向差异很大，只能作为烧友的参考。物理测试一环则可以清晰地显示三种电源的基本特性，显然是工频电源最差，开环式开关电源稍好，天龙开关稳压电源最为理想。

在音质表现上，由于天龙开关稳压电源有大功率和稳压输出的优势，工作频率高达100kHz，在测试中明显占据优势，而工频电源虽然功率小，配置较低，也仍然保留了自己的尊严，虽然比天龙电源要差一些，但是相比开环式开关电源而言，仍要略胜一筹。

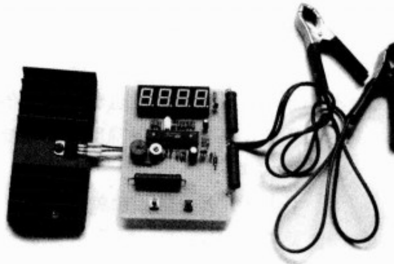
在系统成本上，最低的要数开环式开关电源，在提供多组直流电压输出的前提下，其500W的型号只要110元就可买到，1000W的型号也只要130元；其次是天龙开关稳压电源，在提供了稳压和全功能保护的前提下，价格也不到300元；传统的工频电源要想达到同样的功率和功能，价格就要高很多了。比如工频电源要达到开关稳压电源的测试表现，就要增加线性稳压单元，考虑到市电的波动、重载下整流滤波部分输出电压的下降及稳压单元自身的压降，稳压前后的压差要达到10V以上，这会带来很大的功率损耗，同时电源系统的体积、重量和造价也都会大大增加。

关于开关电源在音响器材中的应用，从来都是争论激烈，不少发烧友顾忌颇多：除了音质表现外，争论的焦点主要集中在高次谐波对音质的影响，电源尖峰对电网和周边设备的干扰以及电源的可靠性上。通过测试，开关电源的高频干扰并没有一般人想象的那么严重，在电磁屏蔽上下些功夫后完全可以放心使用。另外，笔者认为可靠性应结合整个系统综合进行衡量。传统观念都认为工频电源的可靠性较开关电源为高。但实际使用中两者的差别却很小。笔者先后购买了数台天龙开关电源，一直工作得很好，最长的使用时间已经14年有余，从未出过什么状况。尤其值得褒扬的是，该电源自带全功能的保护，对电源短路、过载都提供了全面的保护。虽然限制了最大的动态输出，但安全性上的所得更大，比如同事装M5功放板时出现了差错，通电后开关稳压电源立刻自我保护，切断了输出。如果此时接的是开环开关电源或者工频电源，只怕马上就可以看到烟花效果了。笔者用开关稳压电源以后还没有出现过烧管之类的恶性故障，相反以前用工频电源时，不仅烧过管子，而且还烧过一头环牛。可见可靠性的评估还是要依据整个系统的情况来进行判断。

关于音质表现，客观地说传统的工频电源并没有完全被开关电源击败，只能说各有千秋。如果搭配得好，传统的工频电源在音质表现上还是很有特色的，完全可以满足各种条件下的需要。它巨大的重量对于器材的避震有一定的帮助，对于电网和其他设备的干扰相对也要小些。但近年来随着开关电源技术的不断成熟和改进，效果不断改善，成本不断降低；加之D类功放的兴起，开关电源在音响中的应用也日益增多，从普及型的DVD到专业功放，甚至Hi-End级别的音响器材中，越来越多地出现开关电源的身影。虽然目前开关电源在使用中仍然暴露出了这样或那样的问题，参测的两台开关电源还比较简陋，在技术上还都有一定的缺陷，但在使用中都提供了不错的效果，可说是物有所值。而且从技术的发展来看，传统的工频电源已经难以玩出新的花样，而开关电源的发展空间却非常广阔。音响发烧友们完全应该摒弃对开关电源的成见，大胆地在音响中试用，也许它会给你带来一个不小的惊喜呢。

电动车蓄电池容量测量仪

◎吴汉清



人们往往通过电动车能骑行多少里程来衡量蓄电池的容量大小，这种方法虽然比较直观，但只能作一个粗略的估算，要精确测量蓄电池的容量，可以让蓄电池恒流放电，测量出电池电压达到终止放电电压时的放电时间，用放电时间乘以放电电流就可以算出蓄电池的容量。本文介绍的蓄电池容量测量仪就可以用来测量电动车蓄电池的容量，结果用4位数码管显示，同时可以测量电池的电压。电路结构简单，很适合业余条件下制作。

一 性能特点

●可测电池型式：蓄电池

●蓄电池电压：12V

●放电电流：3A恒流

●放电终止电压：10.5V

●蓄电池容量测试范围：0.00～99.99Ah

●测量仪由待检测蓄电池供电

二 硬件电路

现在市场上的电动车蓄电池每个单元为12V，由6个电池单格串联而成。电动车的蓄电池组一般由3个单元或4个单元串联组成，电压分别为36V和48V。测量蓄电池容量首先要考虑的一个问题是选多大的电压来测，因为电池通过假负载放电时会产生很大的热量，选择电压要综合考虑，如用48V直接测，放电电流取3A，则功耗为144W，必须用大的散热板，并且要加风扇散热。这里选择对一个单元12V电池测容量，以放电电流为3A计算，功耗为36W，这样制作就比较简单了。如果我们要对多个电池同时测量，可以

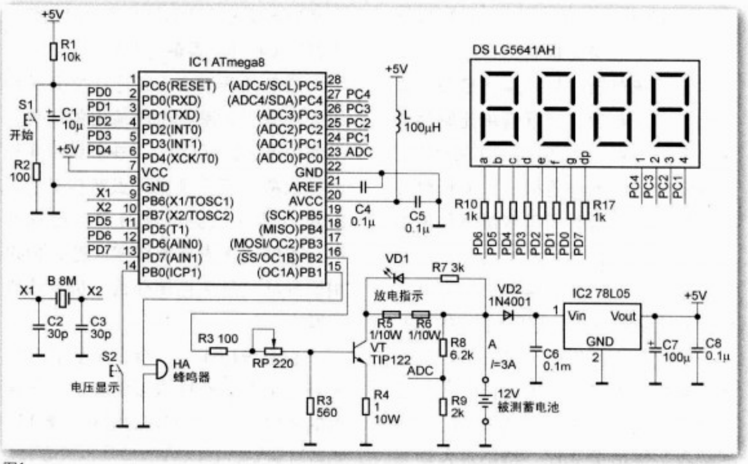


图1

采用并联的方法测量，这时功耗不增加，只是测量的时间变长了。

电路见图1，由单片机电路、恒流放电电路、电压测量电路、显示电路和蜂鸣器报警电路等部分组成。

ATmega8、R1、C1等组成单片机电路，为了提高测量的计时精度，单片机使用外部晶体振荡器提供时钟信号，时钟频率取8MHz。

电路利用ATmega8内部的模数转换ADC0通道测量蓄电池电压，转换精度为10位。ADC的参考电压选用外部的5V参考电压，ADC0最大允许输入电压为5V，因为12V蓄电池充电后最高电压可达16.2V，因此要用R8、R9组成的分压电路分压后才能测量。

测量结果由ATmega8的PD口输出7段字型码和小数点位到4位数码显示，ATmega8 的PC1~PC4输出位驱动码，作动态扫描驱动输出。

单片机的工作电源由被测蓄电池经78L05稳压后得到。

达林顿三极管VT、RP、R3~R6等组成恒流放电电路。VT的工作状态受ATmega8的PB2脚的控制，当PB2输出高电平时VT导通，调节RP可改变VT的基极电位,从而调节VT的工作电流。由于VT的发射极接有直流负反馈电阻R4，因此当蓄电池在一定范围内变化时VT的工作电流能基本保持不变，从而起到恒流的作用，蓄电池的放电回路主要为R4、VT、R5和R6组成，R4～R6上的功耗较大，故采用了大功率电阻，VT上的功率也比较大，故也加了散热片。

S2是电压显示按钮，平时数码管显示的是蓄电池已放电的容量，按一下S2，则数码管显示电池电压1s。

测量仪接上被测的蓄电池后，电路即开始对电池容量开始测量，实际上就是开始计时，显示在数码管上的数值是放电电流和计时值的积。放电过程中发光二极管VD1发光指示。

蓄电池放电后电压会逐渐下降，当电压低于10.5V时，PB2输出低电

平，VT1截止，蓄电池停止放电，此时数码管显示的电池容量不再改变，该数值即为所测电池的容量。与此同时，PB1输出周期为1s的脉冲信号，使蜂鸣器HA发出间隔的报警，告知蓄电池容量已测试完毕。

接上蓄电池开始测量的瞬间，如果单片机没有能正常上电复位，只要按一下S1即可开始测试。

测量结果显示到小数点后面2位。

三 软件设计

程序有主函数、AD转换函数、T/C0中断函数、数值处理函数、显示函数和延时函数等部分组成。

主程序的流程图见图2。

T/C0中断函数主要用来作过程的控制、ADC转换函数的调用、有关显示数值的计算、数码管的动态扫描进行控制等，流程图见图3。

由于放电电流为3A，因此每放电1/300h（即12s）电池容量减小0.01Ah，在T/C0中断函数中每过12s就对电池容量累加一次，待电池达到其放电终止电压时累加值即为被测电池的容量。

AD转换函数用来对ADC0输入的电池电压进行AD转换，使用外部5V电源作为参考电源电压，可通过在主程序中对ADMUX寄存器的赋值完成此设置，并通过ADCSRA寄存器对转换速率、转换模式进行设置。AD转换的结果的高8位和低8位分别存放在寄存器ADCH和ADCL中。

完整的源程序可到本刊网站www.radio.com.cn下载。

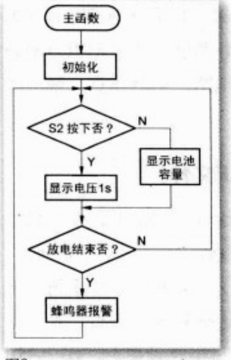


图2

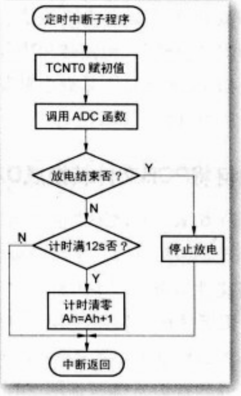


图3

附表 元器件采购清单

序号	元件名称	位号	型号规格	数量
1	单片机	IC1	ATmega8	1
2	三端稳压块	IC2	78L05	1
3	电阻	R2	金属膜 1/8W 100Ω	1
		R3	金属膜 1/8W 560Ω	1
4		R4	线绕10W/Ω	1
5		R10～R17	金属膜 1/8W 1kΩ	8
6		R9	金属膜 1/8W 2kΩ	1
7		R7	金属膜 1/8W 3kΩ	1
8		R8	金属膜 1/8W 6.2kΩ	1
9		R1	金属膜 1/8W 10kΩ	1
10		R5、R6	线绕 10W 1Ω	2
12	电容	C4、C5、C6、C8	瓷片 0.1μF	4
13		C2、C3	瓷片 30pF	2
14	电解电容	C1	10μF/16V	1
16		C7	100μF/16V	1
17	二极管	VD2	1N4001	1
18	发光二极管	VD1	φ3 红色	1
19	三极管	VT	TIP122	1
20	电感	L	100μH	1
21	可调电阻	RP	220Ω	1
22	石英晶体	B	8MHz	1
23	蜂鸣器	HA	5V有源 HYDZ	1
24	数码管	DS	LG5641AH	1
25	按钮开关	S1、S2	轻触式	1
26	集成电路插座		28脚	1
27	鳄鱼夹			2
28	电路板		单面万能PCB板	1
29	散热片			1

四 元器件选择和安装调试

元器件的型号规格和数量见附表。

安装前要把目标程序写入ATmega8，有关熔丝位的配置见图4。

制作时注意连接电池和仪器的测试线要选择粗一点的导线。

本装置安装完成要对电池的放电电流进行调试。调试在电池放电回路中A点串一只5A的直流电流表（如使用万用表的5A电流挡），在电流放电状态下调节RP使电流为3A即可。放电电流由VT的恒流工作电流和单片机电路的工作电流两部分组成，而单片机电路的工作电流所占比例很小，其电流也基本固定，因此蓄电池从接上到放电终止的过程中放电电流能基本保持不变。

图4 熔丝位的配置

安装好的测量仪见题图。

五 测量仪的使用

测量仪接上蓄电池后，红色发光管点亮，开始时数码管显示00.00，随后每过12s百分位自动加1。测量过程中按一下按钮S2即可显示蓄电池电压值1s。测量结束后蜂鸣器发出间隙报警声，同时红色发光二极管熄灭，这时数码管的显示值即为所测蓄电池的容量。测量过程中不要按复位键S1，不然蓄电池容量会重新计数。

电路板雕刻经验与技巧

◎周宝善

一 电路板雕刻是怎么一回事？有哪些优点？

本文所说的电路板雕刻特指运用雕刻机雕刻单面敷铜板电路。

在电子研发过程中，我们通常采用面包板、万能板、经过三氯化铁腐蚀过的敷铜板等方式进行电路实验，实验成功后，将电路设计图交给印制电路板厂进行批量加工生产。

2005年5月,笔者有幸得到北京市人民政府优秀人才办公室资助，花费约17000元购买了一台盛意华宇牌CNC雕刻机（型号为SYHY-3025，如图1所示），用于电路板雕刻，使用至今。

笔者认为，与传统的物理、化学方法相比，电路板雕刻法是一种非常优秀的制作电路实验板的方法。具有“高效、自动、精确、方便、廉价、环保”等优点。

SYHY-3025雕刻机可雕刻的电路板最大尺寸为长30cm，宽25cm。笔者经常运用它雕刻单面敷铜环氧树脂板（铜膜厚约35μm）和雕刻小电路板（长3.5cm，宽2.5cm），总数近千块。

运用雕刻机雕刻电路板优点是：

1. 精度高。可设计并雕刻出电路线宽、间距为20mil（约0.5mm）的电路。比如：带有IC芯片的电路、单面表面贴装电路。

2. 操作简单。运用中文版Protel软件进行电路设计，运用雕刻机自带雕刻软件进行电路雕刻，经过简单的学习，小学三年级学生就能熟练掌握。

3. 加工速度快。雕刻一块小电路板（长3.5cm，宽2.5cm）约5～15分钟。雕刻具体所需时间与设置的雕刻速度以及电路的复杂程度有关。

4. 电路设计PCB文件可为Protel 99SE软件识别。

二 经雕刻机雕刻的电路板有哪些特点？

经雕刻机雕刻的电路板具有以下特点：

1. 电路间距一律为20mil（约0.5mm）。从效果上看，敷铜板的铜膜被切割成一小块一小块，铜膜间距一律为20mil（约0.5mm），如图2所示。

2. 电路线宽一般为80mil（约2mm），最小线宽20mil（约0.5mm）。从效果上看，DIP直插式集成电路的两只脚间距正好是电路间距20mil（约0.5mm）加上电路线宽80mil（约2mm），即集成电路的两只脚间距为100mil（约2.5mm），如图3所示。

图1 可雕刻单面敷铜板的雕刻机

3. 电路转角一般为90度。从效果上看，电路均是横平竖直，转折角度均为90度。

4. 手工钻孔，钻孔用的钻头直径一般为1mm。

5. 适用于雕刻单面敷铜板。可以是分立元件、集成电路、表面贴装元件构成的电路板。

注意：上述数据仅仅是笔者个人操作经验，事实上，根据需要还可雕刻出电路线宽、最小间距等于10mil（约0.25mm）的电路，电路转角为任意角度，让雕刻机自动钻孔等。如图4所示是一款表面贴装电路，电路线宽、最小间距等于10mil（约0.25mm）。

三 如何将PCB文件转换成DXF文件？

用Protel设计好PCB文件“ga1.pcb”，如图5所示。点击菜单栏“文件/打开”，找到“ga1.pcb”文件，如图6所示。

将文件另存为“ga1d.pcb”，在菜单栏下方找到“画圆弧”图标按钮，如图7所示。在边框外画一圆圈，双击圆弧，可弹出对话框，如图8所示。将半径设置为“6”，注意：“层”右边方框应选取“顶层标注层”。在菜单栏下

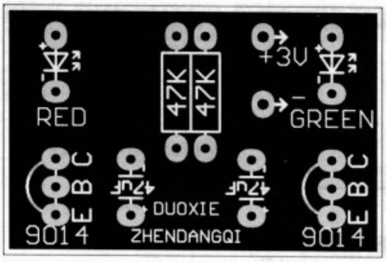


图2 铜膜被切割成一小块一小块的电路板

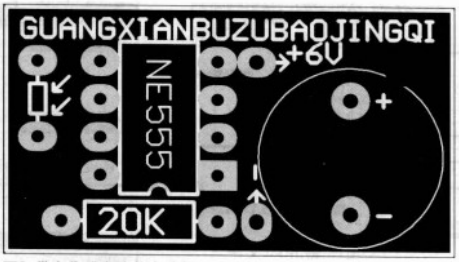


图3 带有集成电路的电路板

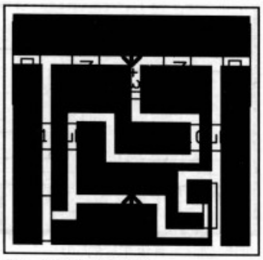


图4 表面贴装电路板

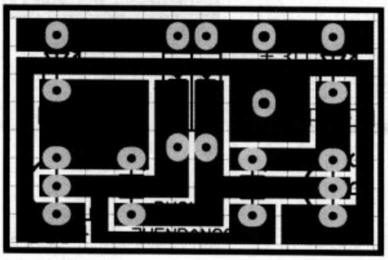


图5 设计好的PCB

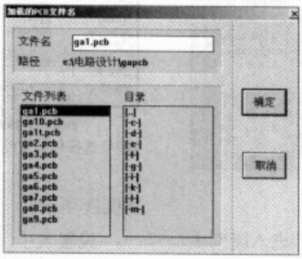


图6 打开PCB文件

图8

图10

图7

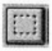


图9

图11

图13

方找到“选择”图标按钮，如图9所示。光标呈现出十字光标，将鼠标移动到圆圈左上方，按住左键，移动到圆圈右下方，圆圈即被选中，按“END”键，电路设计界面将刷新。

点击菜单栏“选项/显示模式”，弹出“显示选项”对话框，如图10所示。选择“焊盘”下“草图”模式。注："焊盘信息”下“显示网络”与“显示标号”前应无“对钩”符号。点击菜单栏“编辑/剪切”。注意应将十字光标对准圆圈正中心按鼠标左键进行“剪切”。在菜单栏下方找到“粘贴”图标按钮，如图11所示。

注意：应将十字光标对准焊盘正中心按鼠标左键进行“粘贴”，每一个焊盘处都要粘一个小圆圈，如图12所示。

在菜单栏下方找到“取消选择”图标按钮，如图13所示。可使用字母“D”+“C”删除所有元件，使用字母“D”+“S”删除所有字符，按“END”键刷新，如图14所示。点击菜单栏“当前/移动栅格/10mil”。

在状态栏中找到“顶层标注层”，在菜单栏下方找到“导线”图标按钮。在填充缝隙正中间画导线，导线粗细，可点击菜单栏“当前/导线宽度/10mil”，如图15所示。可使用字母“D”+“F”删除所有填充，按“END”键刷新，如图16所示。点击菜单栏“文件/输出/DXF”，如图17所示。

软件自动生成“ga1d.dxf”作为“输出DXF文件名”，如图18所示。这个“ga1d.dxf”文件可为雕刻软件读入。点击“Q”键，切换单位。点击菜单栏“信息/印板状态”，如图19所示。由“PCB信息”对话框可知，这一块电路板长33.5mm，宽22.5mm。

四 如何用雕刻机雕刻电路板?

准备一块长35mm，宽25mm敷铜板，实际操作中，长和宽应再增加2~5mm。

将敷铜板的背面（不是敷铜的一面)粘上一层透明胶带，再在透明胶带上粘上一层双面胶，如图20所示。在雕刻机雕刻平台上粘上一层透明胶带，将带有双面胶的敷铜板粘贴在雕刻机平台上，如图21所示。

点击文泰雕刻图标进入雕刻软件界面，如图22所示。设

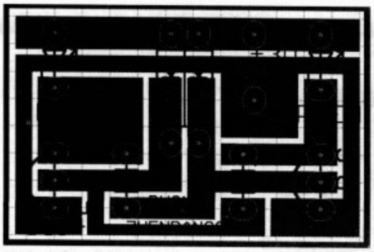


图12 在每一个焊盘处粘一个小圆圈

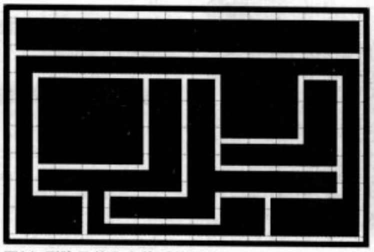


图14 删除元件和字符后的PCB

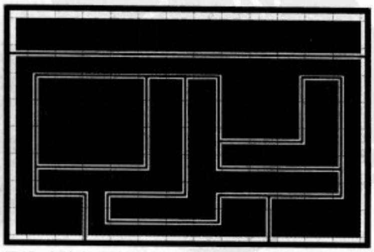


图15 在填充缝隙中画导线

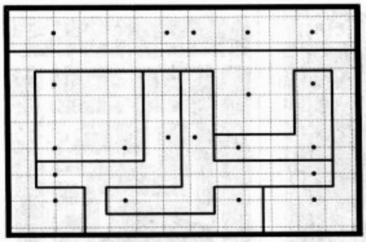


图16 删除所有填充后的PCB

图17 输出DXF文件

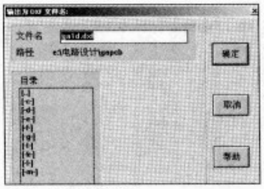


图18 保存DXF文件

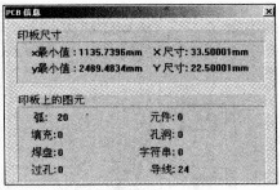


图19 查看电路板尺寸

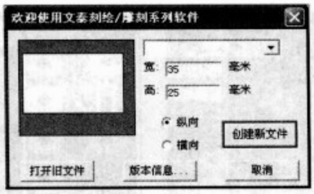


图22 设置雕刻尺寸和方向

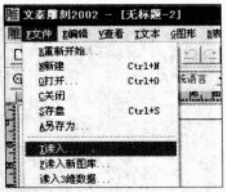


图23 读入雕刻文件

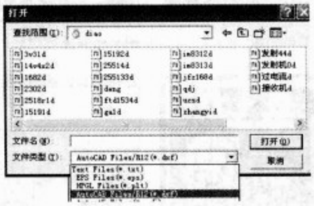


图24 选择雕刻文件

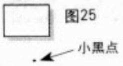


图25

图26 定位对话框

置宽为35mm，高为25mm，点“创建新文件”即进入雕刻主界面。点击“菜单栏/文件/读入”，如图23所示。

注意：选择读入文件类型为“.dxf”，找到刚才输出的“ga1d”文件，如图24所示。

按F10，缩小画面，找到读入的图形，此时读入的图形可能只是一个小黑点，当前的光标为十字光标，选中小黑点，如图25所示。按“CTRL”同时按“D”，弹出对话框，

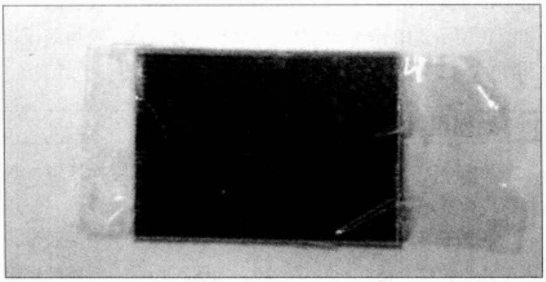


图20 贴好透明胶带和双面胶的敷铜板

图21 在平台上固定好的敷铜板

如图26所示。

设置大小“宽为33.5mm”、“高为22.5mm”，此设置应与电路设计印板状态中的X与Y一致。点击“菜单栏/整齐/水平居中”，点击“菜单栏/整齐/纵向居中”，按F8，全图显示，如图27所示。点击“割”图标，如图28所示。弹出对话框，如图29所示。

初次进入时需进行如下设置：

选择“原线输出”；刀具库“刀径6，角度15，刃宽0.2”，这把刀雕刻出来的铜膜间距约0.5mm，如果选用刃宽

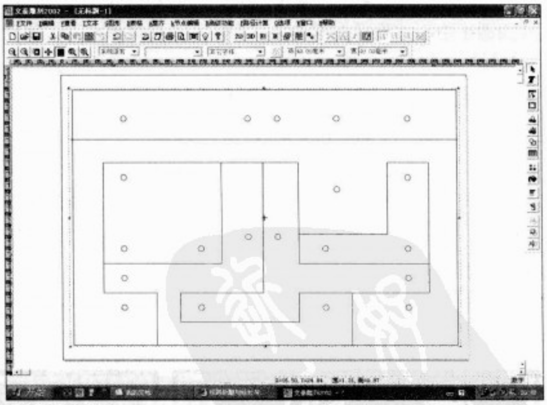


图27 全图显示

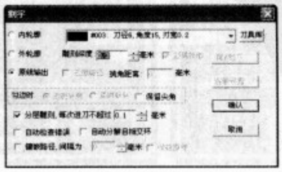


图29 设置雕刻参数

0.1，则雕刻出来的铜膜间距约0.25mm，雕刻深度0.3mm，分层雕刻，每次进刀不超过0.1mm，点击“确认”，如图30所示。点击“雕”图标，如

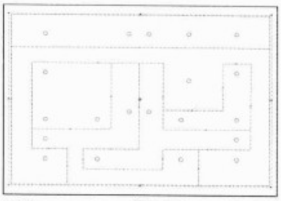


图30

图28

图31

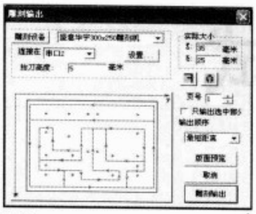


图32

图33

图31所示。弹出对话框，如图32所示。

初次进入时需进行如下设置：

雕刻设备选择“盛意华宇300*250雕刻机”，连接在“串口2”(注:需根据实际情况选择)，点击“F”图标，可变成反“F”图标，这是因为电路设计图纸与印制板电路正好是正反对应关系，这一次需特别关注！点击“雕刻输出”，弹出对话框，如图33所示。

打开雕刻机电源，将铣刀的原点位置细心调整好，点“复位”、“开始”，则机器将自动开始雕刻。整个雕刻时间约5分钟。雕刻机总电源开关位于控制面板右侧，雕刻机铣刀电机开关位于控制面板中侧，控制面板左侧为雕刻机铣刀

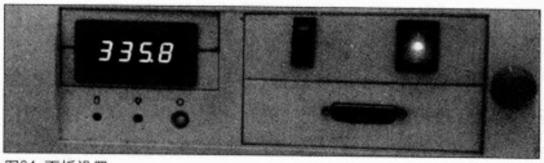


图34 面板设置

图35 控制盒

电机的转速，约3358转/分钟，如图34所示。

按一下控制盒上“暂停”键，再按几下“Y”向右键，可见雕刻铣刀在横向移动， 再按几下“X”向下键，可见雕刻铣刀在纵向移动， 再按几下“Z”向下键，可见雕刻铣刀在竖直移动，如图35所示。

接下来的一步十分关键且重要，按一下控制盒上“微步”键，再按几下“Z”向下键，使铣刀与敷铜板间距刚好为一张纸的厚度，方法是让一张纸从铣刀与敷铜板间穿过去，纸刚好被划出一道擦痕，但未被铣刀切断，如图36所示。

按一下控制盒上”微步”键，取消微步动作。按一下控制盒上“原点记忆”键，再按几下“V-Z”与“V-XY”键，使

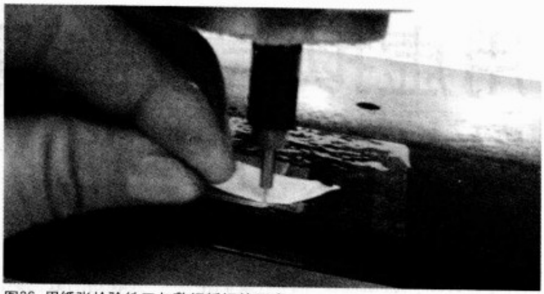


图36 用纸张检验铣刀与敷铜板间的厚度

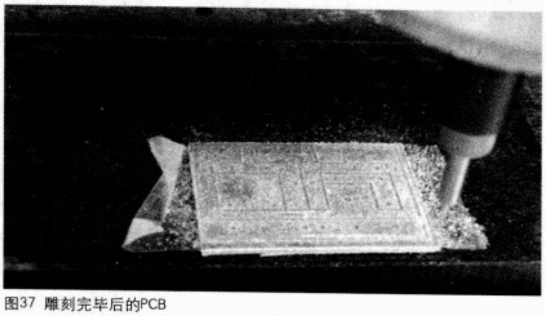


图37 雕刻完毕后的PCB

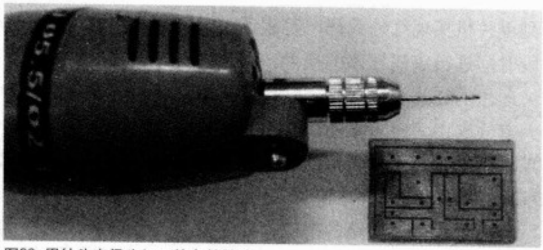


图38 用钻头直径为1mm的电钻钻孔

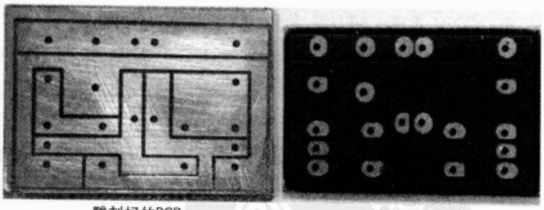

雕刻好的PCB　　厂家加工的PCB

图39 效果对比

铣刀切削速度降低至6mm/s，进刀速度降低至2mm/s。雕刻完毕，如图37所示。

按一下控制盒上“复位”键，等到铣刀恢复到初始位置时，关铣刀电机电源开关，然后再关雕刻机总电源开关。接下来，用钻头直径为1mm的电钻钻孔，如图38所示。

用细砂纸打磨几下敷铜板表面，使敷铜表面光亮，容易焊锡。图39所示为雕刻好的电路板与送往印制电路板厂加工好的电路板。

用虚拟示波器调试红外收发电路

◎陈庚

用单片机对家电遥控器进行解码接收，想必很多单片机爱好者都做过这个试验了，动手能力强的还用一个遥控器实现对多个电器的控制，有的甚至还将它解码后遥控电脑。但大家也许会发现，大部分资料上都是说红外解码的，几乎看不到有介绍怎样设计红外编码程序的文章和资料。这其中最主要的原因就是编码程序比起解码程序开发难度要大一些，且有更大的商业价值。本文介绍怎样用51系列单片机实现红外编码，笔者通过一段时间进行编码程序的摸索，得出较为理想的红外编码程序，现写出来与大家分享。同时本文还将介绍怎么样用基于电脑声卡的虚拟示波器来对编解码电路进行波形测试和调试。

先说说硬件电路的搭建，红外发射电路见图1，电路相当简单，编码由AT89C2051完成，VD1为发光指示,用来判断是否有信号输出，VD2为红外发光二极管，单片机输出的数据信号经9012放大后驱动VD2发出红外光。图2则是红外接收电路，一体化红外接收头收到的数据送入单片机的P3.2口，另外电路还加入了串口通信功能，单片机写好接收程序后可通过串口用串口调试软件来检测收到的数据是否和发射的相一致。发射和接收电路都很简单，两个电路的时钟频率都是11.0592MHz，请不要随便改动，否则程序也要作相应的改动。电路可直接在面包板上搭建。另外发射部分只采用了一个三极管放大，会使有效接收距离变短，要使距离增大，大家可参考《无线电》2008年第1期中的《如何增加红外遥控作用距离》一文中的介绍。

基本的硬件电路介绍完后，开始我们的主要部分——编解码程序。对于红外解码相信大家已经很熟悉了，因此本文的重点放在讲解怎样用汇编代码实现红外编码。因自己家里的电视遥控器编码芯片为SC7461，故用程序模拟实现7461的编码，而7461的编码协议《无线电》以前的文章已有介绍，大家也可上网查询，本文就不再重复。红外38kHz载波由单片机的定时器来产生，38kHz的周期是26.3μs，故给T0或T1装载相应的定时常数并在定时中断程序里对红外输出端做相应的位设置，即可输出38kHz的载波。程序采用汇编语言，程序中使用程序状态字寄存器中的F0作为发射标志位，定时中断里反复检测其状态，F0为0则发射低电平，为1则发射脉冲，当然标志位也可自己定义，但前提是不能发生冲突。

定义好要发射的数据后，先发射引导码，将F0设为1，并调用9ms的延时，发射9ms的脉冲，接着将F0设为0，调用4.5ms的延时，发射4.5ms的低电平。引导码发射完后是用户码和数据码及数据反码的数据部分，不管是用户码还是数据码、数据反码，都遵循一个原则，那就是对其连同进位标志CY循环左移，每移动一次后先发射560μs的脉冲再检测一次CY的状态，CY是0则F0就设为0，同时调用560μs延时表示此位是0，CY为1则F0为1，同时调用1690μs延时，表示此位是1。由此即可实现用数据的位状态对38kHz载波进行调制。另外要强调一点，定

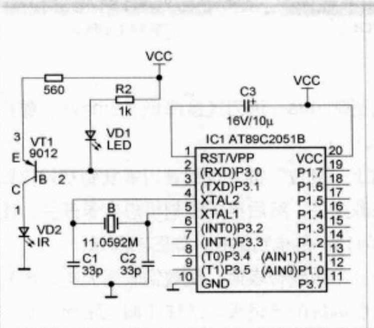


图1

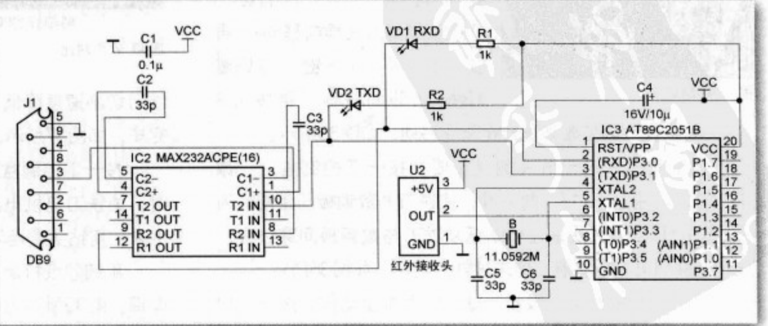


图2

时中断里不能进行现场保护，否则产生的红外编码是错误的，大家可以试着在定时中断里加入对累加器A和进位标志CY以及F0的推入弹出语句，看看现场保护后程序运行是否还能保持正常。

程序写好后，还有一个很关键的问题，那就是调试。红外编码脉冲的时序要求比较严格，你的延时程序所产生的脉冲宽度很可能和电视遥控器的出入很大，而且即便你已对延时程序进行了精密的调整，很可能因为程序语句的相互影响而使实际时间和设计的延时时间不一致，这种情况下没有示波器的帮助是几乎不可能完成调试的，但市面上的数字示波器动辄一两千元，很多电子爱好者根本承受不起，因此基于电脑声卡的虚拟示波器则是很好的选择。笔者使用的是网站上下载的一款名为Multi-Instrument（万用仪)Pro3.0的试用版示波器，有21天的试用时间，大家可以到百度或是谷歌搜索，许多网站均提供全中文的安装文件。软件安装也很简单，选择好要安装的磁盘位置后就点下一步，根据提示来就可以了，软件界面如图3所示。软件是全中文的，每一项功能都有对应的中文意思，没用过示波器的读者也很容易上手，最上一排是菜单栏，第二排是触发设置和采样设置，第三排可以设置声卡，并可显示信号强度，最下一排则可调节时间和电压。除此之外软件还提供频率计和频谱分析仪，大多数情况下这两项功能我们都很少使用，可以不去管它。

安装到电脑上后再根据以往文章介绍做个探头就可马上使用。有的读者担心损坏电脑声卡，这种担心也不无道理，而解决办法很简单，那就是用个光耦（PC817或其他类型）将声卡和待测电路隔离，至于这种光耦的使用方法再简单不过了，因篇幅有限不再介绍，当然这种改动只能测数字信号。探头做好后，就可测试信号了，至于具体的使用方法可参考软件的说明或是到相关论坛里寻求帮助，这里就不再详细介绍了。图4是笔者用虚拟示波器测量到的发射端编码脉冲。如果脉冲很窄，也就是时间较短，则可调节T轴刻度直到能准确读出脉冲时间，测量时观察每个脉冲的宽度是否和程序想要实现的相同，不相同就根据实际情况对每个延时子程序的延时长度进行调节，每改动一次就测量一次，有了示波器的帮助相信在很短的时间内就能得到我们想要的波形。从图中可以明显区别出引导码和用户码及数据码数据反码，甚至能从用户码和数据码波形中读出具体的数据，数据高位在左边，窄的高电平和宽的低电平组合表示位1，窄的高电平和窄的低电平组合表示位0，图中数据为：用户码98H+83H+3BH再加上单独的两位3H，共计26位，数据码：1H，数据反码：FEH。至于红外接收端因好多网站上均有红外解码程序提供下载，并通过验证是正确的，因而几乎可以不用调试就能正常工作。

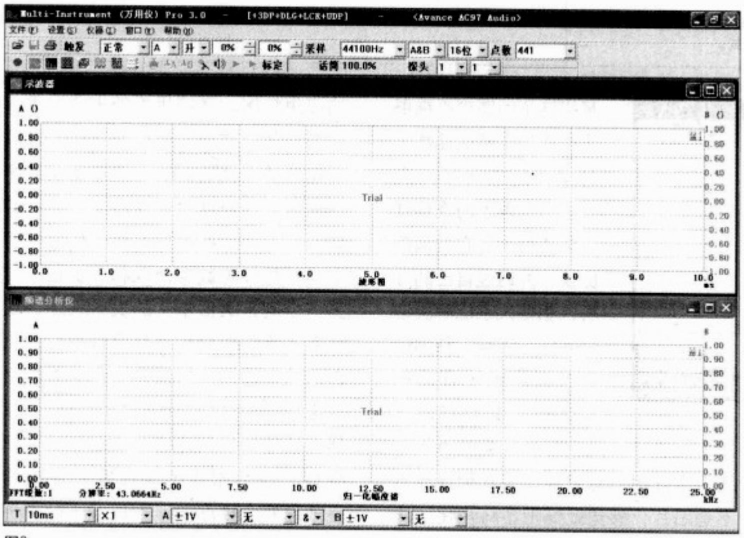


图3

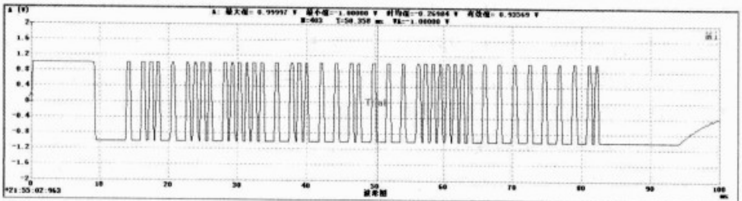


图4

波形正确后，就可将发射电路和接收电路放到能有效接收的距离，插上写好程序的单片机，本文提供的解码程序中带有串口通信功能，将接收端与电脑用串口数据线连起来，接上电源，就能从串口调试助手里看到单片机接收到的红外数据，图5是串口调试助手收到的数据，可以看出接收到的数据分别为00H，80H，40H，C0H，20H，A0H，60H，E0H，10H，90H共十个字节循环发射，而这10个字节的数据在笔者家中的遥控器上所对应的功能刚好是从频道0到频道9，将编码电路放到电视机旁边，接通电源

测试展台

≫美国吉时利仪器公司（KEITHLEY）RF系列产品

美国吉时利仪器公司的2920型射频信号发生器和2820型射频信号分析仪，能够测试最复杂的信号结构，包括802.11n WLAN MIMO和802.16e Wave 2 WiMAX信号，并且通过吉时利仪器的软件无线电架构能够反复而精确地产生并分析频率高达6GHz的信号。利用它们可以和MIMO同步单元能够配置出高性价比的4x4 MIMO测试系统，而专为研发与生产测试而优化的MIMO系统能够大大缩短上市时间，降低测试成本。

2900系列射频矢量信号发生器

- ◇ 采用内部产生的调制信号高达80MHz的调制带宽
- ◇ 100M次采样的内置任意波形发生器，支持从MATLAB®或LabVIEW™等仿真软件下载波形；
- ◇ 数字信号（ASK、FSK、PSK、QAM）、蜂窝（GSM/GPRS/EDGE、cdma2000、W-CDMA）、GPS和模拟（CW、AM、FM、ΦM、噪声、双音CW和脉冲式）信号生成格式；
- ◇ 能够自动调整功率，将电缆的功率损耗修正到+0.3dB的精度。

2800系列矢量信号分析仪

- ◇ >30MHz调制测量带宽，能够捕捉符合最新高带宽无线标准的信号；
- ◇ 内置的频谱分析模式；
- ◇ 采用低噪声底限的高速DSP，测量信号的速度比其他方案快几千倍；
- ◇ GSM、cdma2000、W-CDMA和802.11信号分析格式。

≫美国国家仪器(NI)有限公司最新声音与振动测试产品

NI近日推出可应用于噪音、振动和平顺性（NVH）测试、机器状态监测与音频测试应用的新版分析与信号处理工具——NI声音和振动测量套件7.0。它结合NI LabVIEW VI扩展了分析功能，能够有效地对音质进行测试，帮助工程师们快速搭建系统，测试声音质量。此外，NI推出的NI USB-4432是一款便携式的总线供电驱动的动态信号采集模块，可应用于高精度的声音与振动测试。

NI声音和振动测量套件7.0版本支持完整的音质分析功能，这为工程师们设计出具有高质量音质的系统提供了保证。套件中的LabVIEW VI同时包含针对汽车、军工、航天、机械与结构设计应用所需的倍频程分析、频率分析和阶次跟踪功能。通过基于配置的声音与振动测量助手或套件中所提供的超过50个可即时运行的LabVIEW范例代码，工程师们可以快速、高效地开始应用开发。

下载免费试用版或了解更多关于NI声音和振动测量套件的信息，请访问ni.com/soundandvibration/zhs。（资料室）

图5 串口调试助手收到的数据

并将红外发光管对准电视的遥控接收口，则电视频道从0到9循环切换，从而最终验证了编码程序的正确性。只可惜笔者是用USB接口的聊天用摄像头拍的图片，而电脑又和电视不在同一房间，因此不能拍下编码程序遥控电视时的图片，笔者家中的电视型号是康佳F2165，读者可将程序写入单片机后进行验证。有的读者会问，我家的电视不是这个型号，电视遥控器的编码芯片也不一样，那该怎么办呢？

其实这个问题也不难解决，首先拆开遥控器看看里面的编码芯片型号，然后再上网查询其相关资料得到它的编码协议，并通过自己的分析，相信大家能解决这个问题。还有一种编码芯片可能就要麻烦些了，你会看到它是黑黑的一块，上面没有型号编码也无任何文字说明，封装既不是双列直插也不是贴片，感觉就像把塑料烧化了滴在上面的，有的技术人员将它称之为“鸡屎”可以说是较为贴切的称呼。这种编码芯片恐怕就只能通过解码程序来获取它的编码信息了，相信大家掌握了本文介绍的方法后，对大多数红外编码芯片都能实现软件模拟。

以上程序通过后，大家就可以利用自己的动手能力，实现对这一程序的应用扩展，其应用不外乎两大类：一是用其组建一套遥控收发电路，实现对各种电器的控制；二是用此程序来进行无线数据传输。市面上有一种学习型万能遥控器，其核心程序有两个，一是红外数据读取和分析程序，另一个则是类似本文的发射程序，读者若是能将两个程序都分析透彻并能自己独立编制，再配合一个功能齐全的电路，则有相当大的经济价值。当然对于单片机爱好者来说这也是一种挑战，没有相当的编程能力是很难完成这两个程序的，不过对于低级别的应用这个编码程序道是足够了，我们可以用它和解码程序相配合来遥控家电或是玩具。而要进行无线数据传输，实施起来也不难，因为编码程序发出的本身就是数字信号，大家可以在此基础上举一反三，对程序作适当的改动，就可马上应用到自己的程序中去。

法拉第电磁感应定量测试仪

◎殷建彬

在现行的高中物理课本中，电磁感应实验一般用图1所示的实验装置进行实验的。当我们插入或者拔出磁铁，电流表就有指示，电流表不但能显示电流的大小，也能够显示出电流的方向（指针的偏转方向）。这个实验的缺点也是非常明显的，一是不能定量显示磁铁的插入速度和电流大小的正比关系，二是显示的数据只是一个瞬间，不能精确地把最大值读出。笔者设计的电磁感应定量测试仪不但解决了上述缺点，还增添了新的功能。

一 法拉第电磁感应原理简介

法拉第电磁感应定律表达式:$E=n\ \Delta\Phi/\Delta t$，式中$\Delta\Phi=\Delta B\cdot S$，$n$为线圈的匝数，而$\Delta t$与磁铁的插入速度有关，速度越大，$\Delta t$越小。

二 测试仪的结构设计和试验方法

电磁感应定量测试仪的结构如图2所示，它主要由底座、支架、滑道、线圈等组成。我们按照1:4:9的比值在滑道上刻上了刻度，实验时，把电磁铁放在滑道的某一刻度位置松手，在重力的作用下，加速下滑，磁铁到达线圈，磁铁切割磁力线产生感应电动势。在滑道上下滑时的加速度是$a=g\sin\theta-\mu g\mathrm{con}\theta$，根据运动学公式$v^2=2as$可以推出当磁铁分别在1、4、9刻度下滑，到达线圈的速度之比是1:2:3。由此我们可以验证E与Δt成反比。在这里速度之比与滑道摩擦力大小没有关系，所以我们对滑道的粗糙程度不需要处理，只要处处保持一样就可以了。线圈有3个绕组，如图3所示。3个绕组的匝数是一样的，由此我们可以验证E与n成正比。我们做这个实验的时候，还可以把两块磁铁绑在一块来做实验，由此可以证明E与$\Delta\Phi$成正比。

三 测试仪的电路设计及工作原理

电磁感应定量测试仪电路如图4所示，主控单片机选用高性能、低功耗的8位ATmega16单片机，它具有如下特点：16KB的系统内可编程Flash，512B EEPROM，1KB SRAM，32个通用I/O口线，32个通用工作寄存器，3个具有比较模式的灵活的定时器/计数器(T/C)，可编程串行接口，低功耗空闲和掉电方式等。ATmega16还有两个具有可编程增益（1×，10×，或200×）的AD差分通道。

本测试仪就是用到了可编程增益10×的AD差分通道，R12~R16组成差分输入电路，R18和C1是差分电路的退耦滤波电路，L2就是图3中的线圈。系统5V电源经过L1、C3滤波后到AVcc，这样就能很好的抑制掉系统电源中的高频噪声，提高了AVcc的稳定性。ADC的参考电压源采用AVcc，电容C4并接在AREF和地之间也进一步提高了参考电压的稳定性。

DS1是4位数码管，R1~R8是限流电阻，数码管的第一位的G段用来显示电流的正负，电流为正不显示，电流为负则G段点亮。

R17和C2组成单片机的复位电路，由于不需要精确的定时，所以我们没有用外部晶体振荡器，而是采用

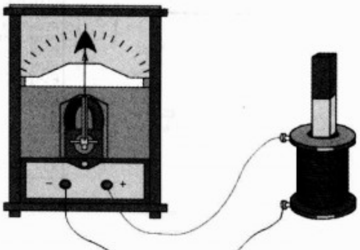


图1

图2

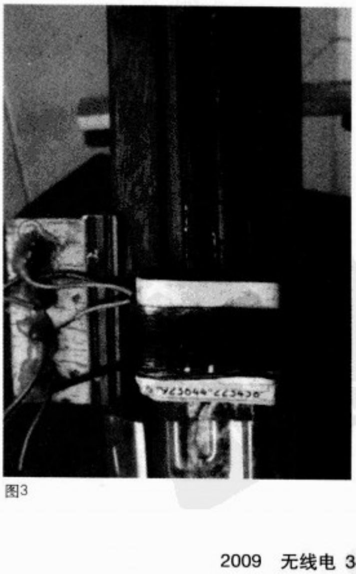


图3

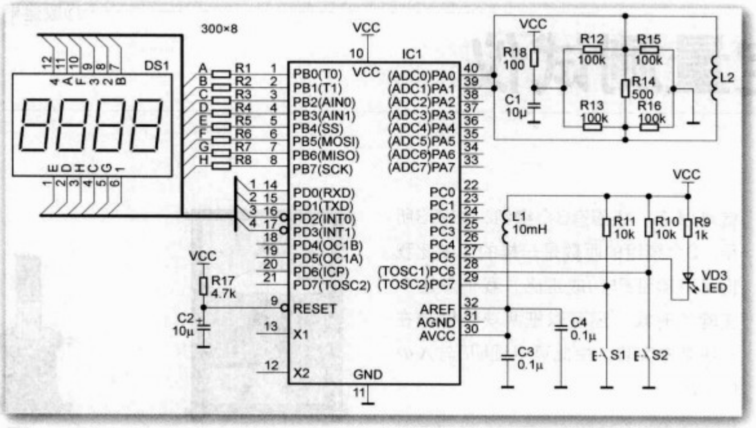


图4

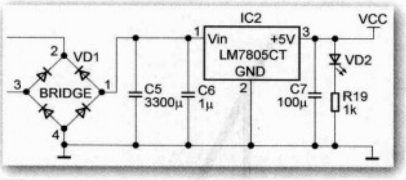


图5

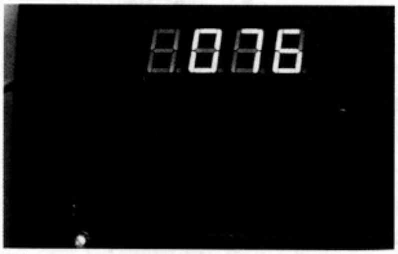


图6

单片机内部的LC振荡器，这样也降低了制作成本。

S1 是测量按键，按一次开始测量，再按一次数据清零，为下一次测量做好准备，R11 是它的上拉电阻，S2 是备用的按键，VD3 是 AD 转换指示 LED。

图5是由VD1、C5、C6、C7、IC2组成的稳压电路，提供5V的工作电源。VD2是电源工作指示电路。图6是实际显示的效果。

四 单片机程序设计

笔者在这里重点说一下模数转换采集程序的设计。编译器用的是WINAVR，即GCC。

当ADC转换完成后，可以读取ADC寄存器的ADC0～ADC9得到ADC的转换结果。一旦开始读取ADCL后，ADC数据寄存器就不能被ADC更新，直到ADCH寄存器被读取为止。因此，如果结果是左对齐（ADLAR=1），且不需要大于8位的精度的话，仅仅读取ADCH寄存器就足够了。否则，必须先读取ADCL寄存器，再读取ADCH寄存器。ADMUX寄存器中的ADLAR位决定了从ADC数据寄存器中读取结果的格式。如果ADLAR位为“1”，结果将是左对齐；如果ADLAR位为“0”（默认情况），结果将是右对齐。

我们选择内部参考源（AVcc、2.56V）作为ADC的参考电压，所以ADMUX寄存器的位REFS1、REFS2都设定为1。由于线圈的输出电压大约是几个毫伏到几百个毫伏，我们选择差分的放大倍数是10，用来显示数据是4个数码管，其中有一位是显示电流方向的，实际用来显示的只有3位，这样正好显示测量到的数据。

单片机采集数据的程序如下：

```
uint read_adc_diff()//查询方式读取ADC差分通道
{
unsigned int ADC_FIX;
ADCSRA|=(1<<ADSC);
loop_until_bit_is_set(ADCSRA,ADIF);
ADCSRA|=(1<<ADIF);
//舍弃第一次转换结果
ADCSRA|=(1<<ADSC);
loop_until_bit_is_set(ADCSRA,ADIF);
ADCSRA|=(1<<ADIF);
ADC_FIX=ADC;
if (ADC_FIX>=0x0200) //负数要变换，正数不用
{
Bit_field.Sign_F=1;
//ADC_FIX=(ADC_FIX^0x3ff)+1;
ADC_FIX|=0xFC00; //变换成16位无符号整数
}
else
{
Bit_field.Sign_F=0;
}
return (uint)ADC_FIX;
}
```

程序说明：我们采用的是查询的方法来采集AD数据的，每2ms调用一次这个函数，也就是说2ms采集一次数据。当切换到差分增益通道，由于自动偏移抵消电路需要沉积时间，第一次转换结果准确率很低,最好舍弃第一次转换结果。

当我们采用差分通道的时候，ADC的最高位是差分通道的电压的高低，当是负值时，此位是1。注意如果用Tiny26单片机ADC+输入端的电压必须大于或等于ADC-，这也是我们为什么选择Atmega16单片机的原因。如果ADC的最高位是1，要进行变换一下,也就是把高位屏蔽掉。Bit_field.Sign_F=1;电流方向标志位置1，以便在显示时显示负号。

下面的程序是有关数据处理的：

```
if((Bit_field.AdStart_F==1)&&((TimeOutChk(&AdMsCount,
```

```
2))==0xff))
        {
            // ADC_Diff-=read_adc_diff(AD_
Diff1_0_10x);//校准OFFSET
            ADC_Diff =read_adc_diff();
            temp32=(long)ADC_Diff* 2560;
                Ad_temp=(unsigned int)
(temp32/5120);
            if(Ad_temp>=LED_Curr)
             {
              LED_Curr=Ad_temp;
             }
                    Bit_field.Adc_F=1;
        }
```

程序说明 if((Bit_field.AdStart_F==1)&&((TimeOutChk(&AdMsCount,2))==0xff)) 的意思是当有按键按下并且2ms的时间到了以后，才进行采集数据。

temp32=(long)ADC_Diff* 2560;和Ad_temp=(unsigned int)(temp32/5120);是数据处理语句。这是由公式ADC=VIN × GAIN × 512/VREF得到的，其中VIN表示选定的输入引脚上的电压，VREF表示选定的参考电源的电压，GAIN是差分增益。if(Ad_temp>=LED_Curr)目的是为了取电磁感应的最大值。程序的其他部分可到**www.radio.com.cn**上下载，不但有笔者编译通过的程序，还有Protel99SE格式的电路图等。

本测试仪经我校物理组使用，实际效果不错，受到了老师和学生的欢迎。它造价低，功能全，特别是适合没有高科技仪器的农村中学使用。对本设计有什么问题可以发到我的邮箱jlj2899@163.com。

背景故事

电磁感应定量测试仪诞生记

1992年，我大学本科毕业后分配到宁阳一中当了物理老师。我是爱鼓捣东西的，没有想到遇到了和我一样爱鼓捣的老前辈——侯庆森老师。侯老师制作的很多物理教学仪器获过奖，有的还申请了专利，如物理电流两用天平等。也听说侯老师发表了好多文章，羡慕得不得了。我对发表在《物理教师》（1990.7.8合刊）杂志上的《法拉第电磁感应定律的定量实验》一文很感兴趣。据侯老师介绍，这个仪器在1989年山东省实验器材发明比赛获得了二等奖，本来可以获得一等奖的，因为测量感应电压用的是示波器，而示波器只能显示瞬时电压，所以示波器显示的时候，水平光柱上去马上就回到原来的位置，好像光柱掉下来了似的，读数很不方便。侯老师给我演示了一番，说：“建彬，你能让光柱别掉下来吗？”我想了一下，说：“很简单啊，市场上有能测量峰值的数字万用表，就不用示波器了。”侯老师摇摇头说，这是一个演示实验，讲课的时候，学生看不到数字万用表显示的数字。后来我就用运放电路帮助侯老师做了一个峰值保持电路，总算光柱掉不下来了。

但是，这个效果不错的仪器竟然没有几个老师愿意用，调查发现，老师们觉得做个实验需要支架和示波器，搬来搬去实在不方便，另外示波器调整起来也很麻烦。我当时也没有别的显示办法，这个事情就放下了。

1998年，我开始学习单片机，那个时候，还是学的汇编语言，没有电脑，进步很慢。2000年用上了电脑，用C语言编程，水平提高很快，自学了C51、PIC、AVR、MSP430等单片机，捣鼓了不少的东西。

去年，拜访退休的侯老师，看到侯老师还在搞电磁感应定量测量仪，我说，“侯老师，这个仪器现在落后了，我们学校有新买的上万元的仪器，能和电脑联网，直接在大屏幕显示，什么都可以测量了。”侯老师却不同意我的意见，他认为用得起这么贵仪器的农村学校不多，只要解决显示问题，老师们还是会喜欢用这个的。我觉得还是有道理的，就利用业余时间用AVR单片机驱动高亮度数码管显示数据，实现了老教师的心愿。在设计过程中，受到网友wangsw热情帮助，在此表示感谢！

◇作者简介

我叫殷建彬，是“老”物理教师了，是我们学校的科技辅导员，爱好电子，爱好捣鼓东西，以前修过电器，现在搞设计。家里最乱的桌子就是我的，老婆也不敢收拾，呵呵！

如何捕捉非周期性突发脉冲信号

◎凌锋

在需要测试一些不规范的非周期性突发信号（比如开关、继电器触点火花、毛刺干扰等）时，用一般的示波器就显得无能为力了。由于这类偶尔突发的信号，时间短、幅度大，只有用数字示波器的存储功能将它们记录下来，然后才可以对它们进行详细地观察和分析。下面就针对这一问题，介绍如何用数字示波器捕捉非周期性信号的方法和步骤。

在介绍之前，让我们对数字存储示波器的使用作一些简单的了解。图1是一台泰克TDS2002型数字存储示波器，各种牌号的数字存储示波器面板类似，大同小异。开机后，首先要对数字存储示波器作功能检查和探头补偿校准。先将示波器探头（探头上的开关一般设定在×10位置）和地线夹子连接到面板的“探头元件”连接器上，如图1右下角所示，再按下“自动设置”按钮，此时若示波器功能正常，左方屏幕将显示频率为1kHz，电压为5V$_{p-p}$的方波。

若屏幕显示的方波有如图2所示的失真，就需要对探头进行补偿调整，图2上边为“过补偿”波形，下边为“欠补偿”波形。这时可以用仪器配备的工具进行探头电容调整，如图3所示，直

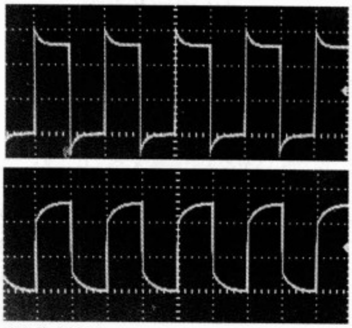


图2 失真波形

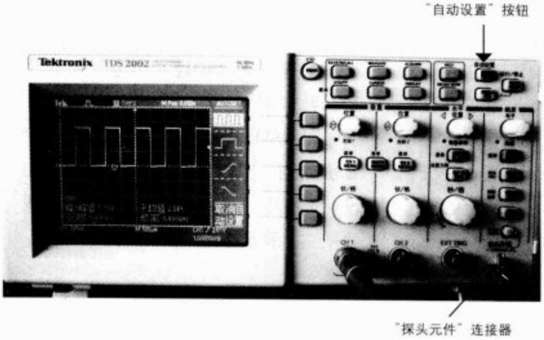


图1 数字示波器作功能检查

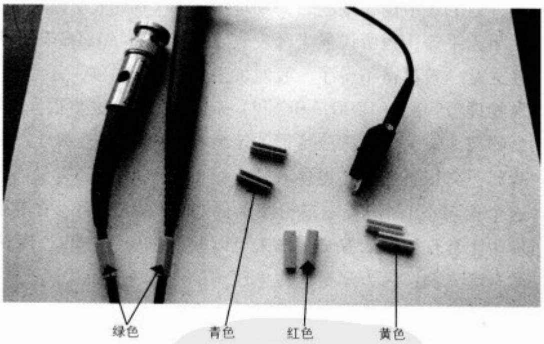


图4 各种颜色的塑料小条

图3 探头补偿调整

图5 将示波器探头接到直流电源测试点上

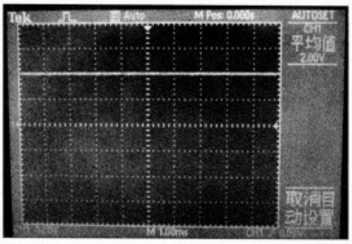


图6 屏幕显示一条2.00V黄色直流电平直线

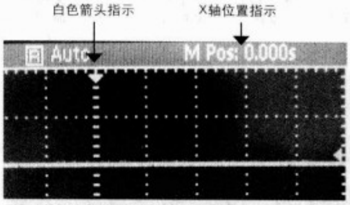


图9 设定捕获突发脉冲在X轴上的位置

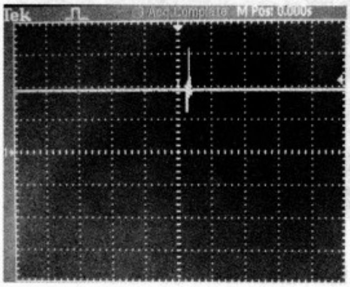


图10 捕获到的电源开关关闭时产生的抖动尖脉冲波

图11 两个不同位置的被捕获脉冲波形

至左边屏幕上的方波正常为止。

这里附带提一下，泰克数字存储示波器配备一小包各种颜色的塑料小条，可能有读者对它有什么用途不

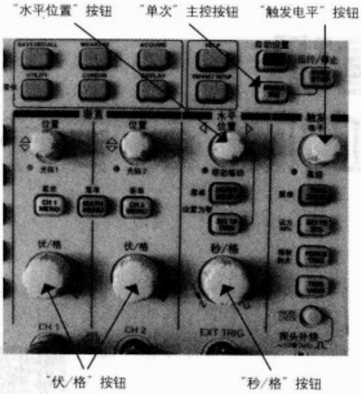


图7 仪器面板部分按钮功能说明

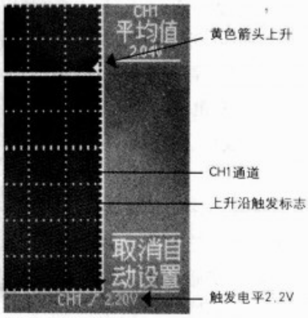


图8 触发电平指示

清楚，这是供需要同时测试多路信号时，用来标识同一路插槽和探头的，即在同一根探头线的两头套上相同颜色的塑料小条，以便区分各个通道，如图4所示。

下面以观察一个直流电源开关，以它开启和闭合时产生的毛刺脉冲为例，说明非周期性突发脉冲信号的捕捉过程，虽然这个测试内容比较简单，但只要掌握了测试方法和步骤，对捕捉其他非周期性突发信号也就触类旁通了。

1. 首先将示波器CH1通道的探头接到直流电源相关测试点上，如图5所示，打开直流电源开关，调节直流电源的电压输出旋钮，选取一固定值，如图6所示直流电压设定为2.00V，屏幕显示一条2.00V的黄色直流电平直线。

2. 调整仪器面板右侧“触发电平”旋钮，如图7所示，设定捕捉脉冲电平比信号电平稍高一点，这里设定稍高0.20V，也就是说，只要出现高于2.20V以上的脉冲都能捕捉到。在调整仪器面板右侧“触发电平”旋钮的同时，屏幕上的黄色箭头跟着上移；同时屏幕下方显示“2.20V”字样和“上升沿触发”等标志，如图8所示。

3. 调整“水平位置”旋钮，设定捕获突发脉冲在X轴上的位置，此处设置在X轴(即时间轴)原点处。调整“水平位置”旋钮的同时，屏幕上方白色箭头在水平方向作相应移动，设置结果如图9所示。

4. 按一下“单次(SINGLE)”主控按钮(参见图7)准备捕获触发脉冲，屏幕白色箭头上方显示“Ready”字样，表示准备好了。

5. 将直流电源开关置于“关闭”位置，这时由于开关在关闭的瞬间将产生一个抖动脉冲，这个抖动脉冲即被数字存储示波器所捕获，在屏幕白色箭头上方显示“Acq Complete(捕获完成)”字样，并且在屏幕上，我们能看到在原直流电平的横线上、位于X轴原点附近有一个尖脉冲波，如图10所示。

6. 这个被捕获的尖脉冲波形将被数字存储示波器保存下来，供我们作进一步的分析和研究，只要调整面板上的“秒/格”和“伏/格”等旋钮（参见图7），即可放大和移动被捕获的脉冲波形位置，图11为两个不同位置的被捕获脉冲波形，但它们都离X轴原点234.0μs处，见图11屏幕上方“M Pos: 234.0μs”所示。

以上介绍测试的开关抖动情况，在电源电路、数字电路触发器、单片机电路等设计时，是需要考虑的因素之一。开关抖动的幅度越小，对电源负载电路的冲击就越小；按钮开关的抖动，可能导致触发器的误翻转；如果是按键，通过测量抖动的时长可确定单片机电路中断处理程序的延时长短等。

如何捕捉和重现稍纵即逝的红外发射信号

◎周春艳

红外遥控是以红外线作为载体来传送遥控命令的。红外线的波长介于红光和微波之间，它有较强的穿透能力，还具有易于产生、不易受干扰等优点。

实用红外遥控中用以传递遥控信息的是一系列光脉冲波，频率较高，一般选择38～40kHz。红外遥控信号中包含了两种信息：其一是38～40kHz的频率信息；其二是矩形包络信息。当向红外接收头发送红外脉冲信号时，由于这种经编码的一连串脉冲信号频率高、周期短，瞬时出现、稍纵即逝，用普通示波器往往不能很好地观察，若用数字存储示波器观察，也存在一个设置是否得当的问题，否则看到的会和普通示波器一样，是一连串重叠、漂移不定的杂乱波形。下面就如何设置数字存储示波器来观察红外脉冲信号进行简单介绍。

1．用普通示波器或没有设置好的数字存储示波器，直接观察红外发射的脉冲信号，虽然能看到波形，但它是一连串重叠、漂移不定的杂乱波形，如图1所示。

2．将数字存储示波器的CH1通道探头连接到一体化红外接收头的输出端，如图2所示。这里的“一体化红外接收头”指包括接收、解调在内的集成模块，发射的红外信号经“一体化红外接收头”接收后，输出的是解调以后的矩形包络成分。打开红外接收机和示波器电源，并按下示波器的“自动设置”按钮见图3，在没有发射红外信号之前，

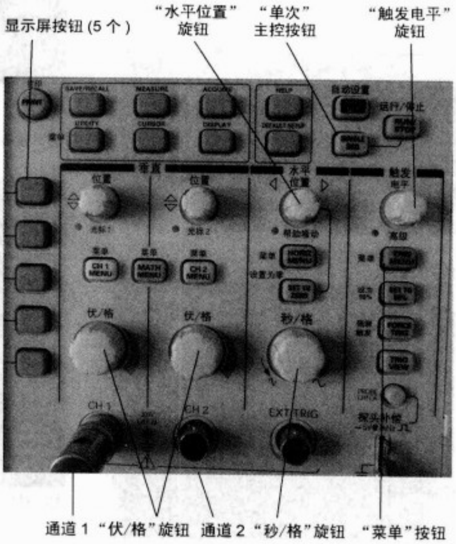


图3 仪器面板部分按钮和旋钮功能说明

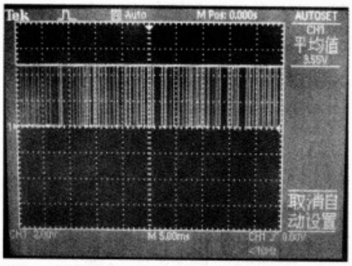


图1 一连串重叠、漂移不定的杂乱波形

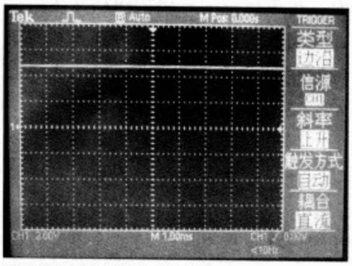


图5 默认触发斜率为“上升”

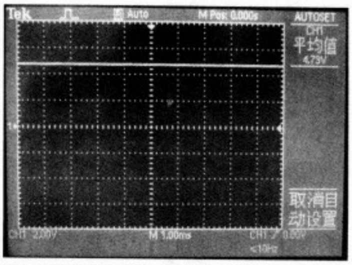


图4 机器初始状态呈一条直流水平线

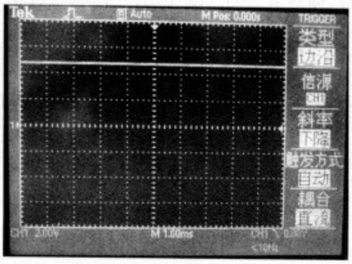


图6 将触发斜率设置为“下降”

图2 将示波器探头连接到一体化红外接收头的输出端

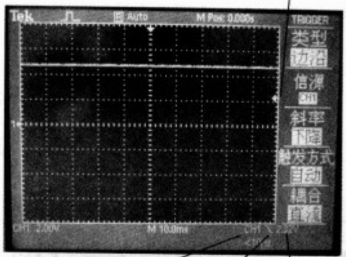


图7 屏幕显示设置触发电平为2.32V

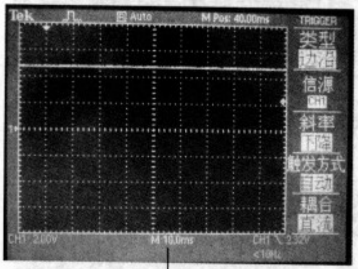


图8 设置X轴扫描时间单位

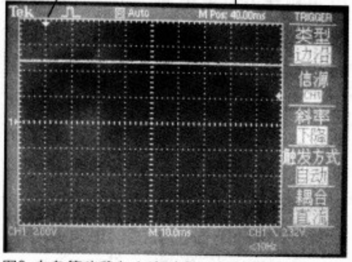


图9 白色箭头移向左边对准一个大格虚线处

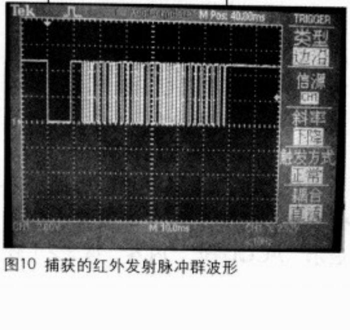


图10 捕获的红外发射脉冲群波形

由于接收机工作电源是5V，故这时从屏幕上能看到的机器初始状态输出信号的电压平均值为4.73V，它呈现为一条直流水平线状，如图4所示。

3．按一下“菜单（TRIG MENU）”按钮（参见图3），屏幕右侧显示“触发”菜单，其中触发斜率默认为“上升”，如图5所示。

4．按一下“显示屏按钮”的第3个(参见图3)，将触发斜率设置为“下降”，如图6所示，这是因为实际的红外信号包络是采用下降沿触发的。

5．调节“触发电平”旋钮(参见图3)，这时屏幕右侧的黄色箭头会跟着上、下移动，并且屏幕右下角触发电平值随着变化，将触发电平设置在红外遥控信号电平的中间值附近，如设置触发电平为2.32V，如图7所示。

6．调整“秒/格”旋钮(参见图3)，同时屏幕下方中间M后面的数字跟着变化，将其调成“10.00ms”，如图8所示，即X轴每个大虚线格时间为10ms，因为实际的红外信号包络波形一个周期在100ms左右。

7．调节“水平位置”旋钮（参见图3），这时屏幕上方的白色箭头会跟着左右移动，如图9所示，同时屏幕右上角“M Pos：”后面的数字也跟着变化，使白色箭头移向左边对准一个大格虚线处，右上角显示“M Pos：40.00ms”。这样设置一方面是为了能在屏幕上显示红外发射信号的一个完整包络波形，另一方面该处也是下降沿触发位置。“M Pos：40.00ms”意味着白色箭头所对的虚线位置离开屏幕中心竖直虚线（基准0ms）为40ms。

8．按一下“单次(SINGLE)”主控按钮(参见图3)，准备捕获红外脉冲，屏幕上方会显示“Ready”字样，表示准备好了。

9．按一下手中的遥控器发射红外信号，这时数字存储示波器屏幕上立

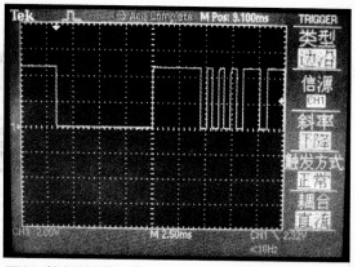


图11 扩展波形(一)

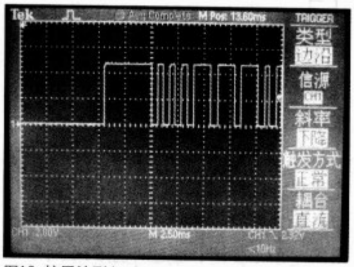


图12 扩展波形(二)

即显示如图10所示波形，并在屏幕上方出现红色字体“●Acq Complete(捕获完成)”。另外，我们还可以看到：红外信号是一系列脉冲群组成的包络波形，包括最前面的起始反码、紧接着是地址反码、识别反码、功能反码等等；屏幕上方白色箭头正好对准红外脉冲群第一个负脉冲的下降沿，由于事先设置X时间轴合理，我们能看到一个完整的红外包络波形，包络宽度约70ms。

10．可以利用调整面板上的“秒/格”和“水平位置”旋钮扩展波形，对它进行详细观察和研究。例如调成图11所示扩展波形(一)，我们可以从屏幕右上角显示的“M Pos:9.100ms”，知道起始反码的前部分为9.1ms；继续调整“秒/格”和“水平位置”旋钮，得到如图12所示扩展波形(二)，屏幕右上角显示“M Pos:13.60ms”，将13.6减去9.1得到4.5ms，就是起始反码的后部分所占时间，因此起始反码的周期即为13.6ms。用相同的方法可以求出其他脉冲的参数，此处不再赘述。

用数字存储示波器测量直流电源参数

◎凌锋

直流电源是电子产品必不可少的部分，它是一种将交流市电转换成所需直流电的装置。一部性能质量好的直流电源将对一个昂贵的大型系统或设备产生重要影响。

一个良好的直流电源必须工作稳定可靠、性能质量好、各项指标都符合设计要求，其中包括：稳压系数，即在负载电阻不变时，输出电压的相对变化量与输入电压的相对变化量之比为稳压系数S_r，其值越小越好，说明该电源受市电电压变化的影响越小；负载调整率也称电源内阻，即在输入电压不变时，输出电压的变化量与输出电流的变化量之比称电源内阻R_0，其值也越小越好，说明该电源的输出电压受负载变化的影响越小；输出杂音（PARD）越小越好，电源功率因数则越大越好，同时直流电源还应具有诸如过电压保护（OVP）、过电流保护(OCP)、短路保护及电磁兼容能力等。

目前开关电源(SMOS)已成为直流电源的主要选项，它具有性能稳定、效率高、体积小等优点。对SMOS的测量主要有3个：有源器件测量、无源器件(主要指磁性元件)测量和电源质量测量。严格讲，对直流电源的各种参数的专业测量是一件相当复杂的工作，借助于“泰克”数字存储示波器和它配套的一款DPOPWR测量和分析软件，能自动地、迅速而准确地得到各种结果，并且能将开关电源的有功功率、视在功率、波峰因数、总谐波失真、功率因素、电流谐波等以条形图显示出来。现在我们不是专业测试，怎样利用手头的“泰克”数字存储示波器和电脑，对开关直流电源的一些基本参数进行测试是本文要讲述的内容。

下面就以“泰克”TDS2000系列数字存储示波器及TDS2CMA通信扩充模块和“OpenChoice Desktop”软件（读者可参阅上一期《用电脑直接获取数字存储示波器图形》一文）为例，对一款开关电源进行交流纹波测量和对谐波频谱进行分析（数字计算FFT，即快速傅里叶变换），说明用数字存储示波器测量直流电源参数的方法。

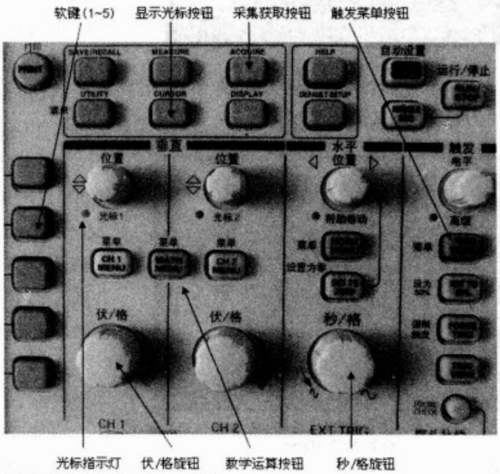


图1 示波器面板部分按钮说明

一 交流纹波测量

由于直流电源是将交流市电通过开关管工作将其变换成脉动直流，然后采用电容、电感滤波得到平滑的直流电，又由于电容、电感滤波的不彻底性，会或多或少在直流电源中残留一些交流成分，这就是直流电源的交流纹波，交流纹波越小则直流电源性能越好。

1. 为测试效果明显，建议在数字存储示波器探头(CH1)和开关直流电源输出端之间串联一只0.22μF的电容(注：一般示波器探头自带隔直电容，如测试结果明显，可不加此电容)，它起隔直作用。

2. 开启“泰克”数字存储示波器电源和开关直流电源，稍等片刻让示波器进入正常工作状态，按一下示波器面板右上角“自动设置”按钮，见图1，这时示波器屏幕显示图像如图2所示，由于耦合电容隔直，这里显示的是交流纹波波形。从图2右侧我们可以看到交流纹波的平均值为2.67mV。

3. 按一下面板上的“触发菜单”按钮，再按第5个软键（自上至下），可以将对应的左侧屏幕“耦合”一项的方式选择为“交流”，如图3所示（这一项的其他选项为直流、噪声抑制、高频抑制和低频抑制）。屏幕右侧文字说明栏中还可以看到：触发类型为边沿，信源接入为CH1，触发斜率为上升，触发方式为自动等。

4. 按一下示波器面板上的“采集获取”按钮，示波器屏幕右侧将显示“ACQUIRE”内容，按第2个软

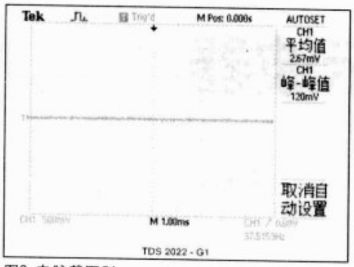


图2 电脑截图G1

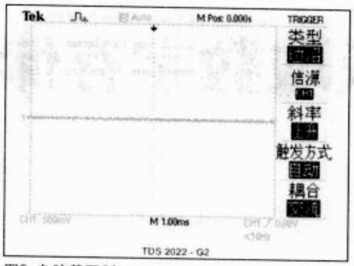


图3 电脑截图G2

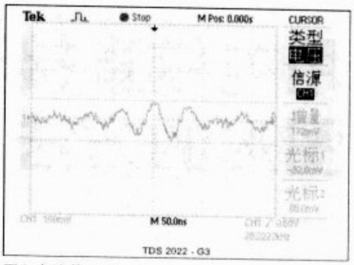


图4 电脑截图G3

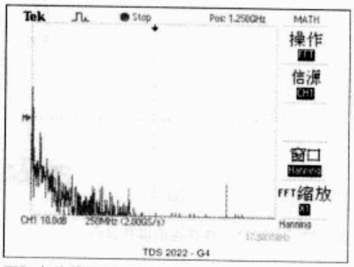


图5 电脑截图G4

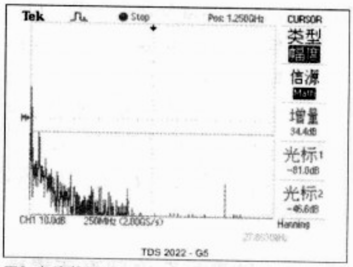


图6 电脑截图G5

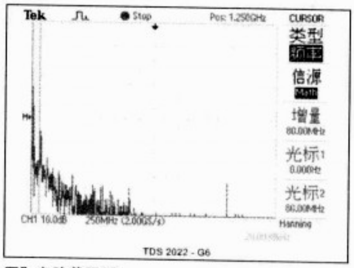


图7 电脑截图G6

键，将采样方式调成“峰值检测”；然后再按示波器面板上的“显示光标”按钮，示波器屏幕右侧将显示“CURSOR”内容，按第1个软键，将类型设置为电压，按第2个软键，将信源设置为CH1，同时可见示波器屏幕上出现了两条水平光标迹线，并且面板上的两盏“光标指示灯”亮，这时你可以反复调整CH1通道的“伏/格”旋钮和“秒/格”旋钮，屏幕上原来呈一条线的交流纹波波形被逐渐放大，按一下“运行/停止”按钮，屏幕上的波形被锁定，再调节两盏“光标指示灯”上方的“位置”旋钮，可以将上下两条光标线定位在交流纹波的峰和谷之间，如图4所示，此时可以从屏幕右侧下方看到：光标1处为-92.0mV，光标2处为：80.0mV，增量为172mV，即开关电源的最大纹波范围在172mV之间，这只是一个大概值，它是随机的，要得到较准确的纹波电压，应该多次测量然后取平均值。

二 FFT测量

通过FFT测量，即快速傅里叶变换运算，可以对交流纹波的谐波频谱进行分析。

1. 在图4所示界面下，按一下面板上的“运行/停止”按钮，再按一下“数学运算”按钮，此时示波器屏幕右侧转变成“MATH”栏，按软键1，将操作设置成“FFT”；按软键2，仍将信源设置为CH1；按软键4，窗口栏共有3种设置，它的特性如附表所示。应根据测定的项目来决定，选择“Hanning”，按一下“运行/停止”按钮，屏幕显示锁定的交流纹波频谱如图5所示。

2. 按一下“运行/停止”按钮，重新开启；然后再按一下“显示光标”按钮，此时屏幕右侧切换成“CURSOR”栏，按软键1，将类型设置成“幅度”；按软键2，将信源设置为“Math”，再调节两盏“光标指示灯”上方的“位置”旋钮，可以将上下两条光标线定位在交流纹波频谱的某一个频率的最高处，如图6所示，光标1处：-81.0dB，光标2处：-46.6dB，增量为34.4dB。

3. 再按软键1，将类型改设成“频率”，此时光标变成两条垂直的竖线，调节两个“位置”旋钮，将光标2同样定位在上面选定的频谱处，如图7所示，屏幕右侧显示光标2处：80.00MHz，也就是说交流纹波的80.00MHz谐波分量的增量是34.4dB。用上述相同的方法和步骤，可以对开关电源的其他各次谐波分量进行分析。从理论上讲，理想的直流电源应该只有直流分量，交流纹波为零，也就是没有多次谐波分量，但实际使用的直流电源是做不到的，只能设法尽量减小交流纹波幅度和多次谐波分量幅度，直流电源的性能越好交流纹波幅度和多次谐波分量幅度越小。

附表

窗口	测定	特性
Hanning	周期波形	频率较好，与Flattop相比，幅度精度较差
Flattop	周期波形	幅度较好，与Hanning相比，频率精度较差
Rectangular	脉冲或瞬态波形	适用于非中断波形的特殊用途窗口

用电脑直接获取数字存储示波器图形的方法

◎黄培根　周春艳

我们在课题研究、撰写论文、收集资料等方面，经常需要将示波器上观察到的各种波形截获下来，以供反复研讨或作为插图撰写书刊稿件用。一般只能采用拍照的方法，由于受相机的像素、分辨率和抖动等因素的影响，特别是截获到Word文档进行排版缩放时，往往会出现图像分辨率降低，模糊不清等缺陷。而数字存储示波器正好有用电脑直接获取图形的功能，并将其保存下来。由于是直接从电脑屏幕上将图形捕获并存储，因此图像质量高，经放大或缩小都不会影响图像的清晰度。另据了解，国内许多数字存储示波器用户，大都只用数字存储示波器观察波形，很少利用它的存储功能存储图像，或对用电脑直接获取数字存储示波器图形的方法尚不清楚，本文就如何用电脑直接获取数字存储示波器图形的方法作比较详细的介绍，给一些数字存储示波器用户提供方便。

一 用电脑直接获取图形所需要的硬件准备

1. TDS2CMA通信扩充模块的安装

安插好"通信扩充模块"的示波器后面板

图1 安装"通信扩充模块"示意图

用电脑直接获取数字存储示波器图形，首先需要在你的数字存储示波器上安装"通信扩充模块"，本文以美国泰克数字存储示波器TDS2022为例进行讲述。该示波器所带的"通信扩充模块"型号为TDS2CMA(注：这是一个可选件，在购买存储示波器时可同时配购，若没有配购，可通过当地的泰克办事处或与其他国内泰克代理商联系购买。

安装"TDS2CMA通信扩充模块"方法非常简单，只要将"通信扩充模块"安插到数字存储示波器仪器背后专门留出的凹槽中即可，安插时，应确保模块接片对准示波器连接器插脚并将模块稳固插入，插紧后凹槽上方有一塑料卡接片会自动将

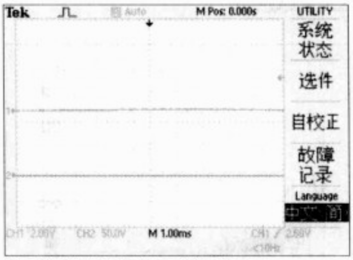


图2 按"UTILITY"按钮后的屏幕显示

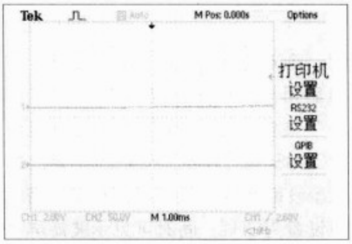


图3 按"选件"按钮后的屏幕显示

它卡住，请参阅图1。

2. 示波器设置

(1) 打开"泰克"数字存储示波器 TDS2022 电源开关，稍等片刻，如果"通信扩充模块"安装正常，示波器左侧屏幕将会显示检测到的有关信息，如"通信扩充模块"的型号版本"TDS2CM(CMV/v1.04)"等字样。

(2) 按一下示波器面板上右侧"菜单"栏中的"UTILITY"按钮(注：请参阅上期"如何捕捉和重现稍纵即逝的红外发射信号"一文中的"图3 仪器面板部分按钮和旋钮功能说明"，这时屏幕显示如图2所示画面。

(3) 再按一下屏幕右侧"显示屏按钮"的第2个按钮(参阅上期《如何

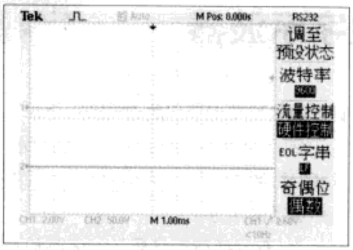


图4 按“RS232设置”按钮后的屏幕显示

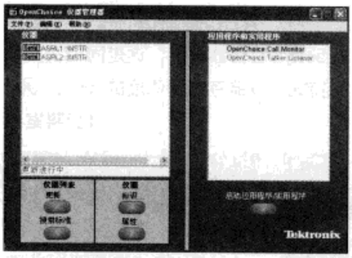


图7 “仪器管理器”对话框(一)

捕捉和重现稍纵即逝的红外发射信号》一文中的“图3 仪器面板部分按钮和旋钮功能说明”，“显示屏按钮”从上到下竖排共五个，它们紧靠左侧屏幕。)，也就是与上面图2屏幕中“选件”右侧所对应的按钮，这时屏幕变换成如图3所示的样子。

(4) 再按一下屏幕右侧“显示屏按钮”的第3个按钮，即屏幕上“RS232设置”对应的右侧按钮(注：RS232是8位串行通信标准，它使示波器能够与诸如计算机、终端或打印机等的外部RS232设备进行通信。)，这时屏幕显示如图4所示。

在图4界面下，按“波特率”右侧按钮，可以改变波特率大小，同理按“流量控制”、“EOL字串”和“奇偶位”右侧对应按钮，均可改变设置。但这里希望读者按图4进行设置，即“波特率”选“9600”；“EOL字串选“LF”等，否则可能出现麻烦。

3. 串口连接

这里讲的串口连接指的是示波器的通信串口(注：参阅图1)与PC机的串

图5 桌面上的两个快捷键图标

图6 桌面右下角“VISA Resource Manager”小图标

图8 设置“串口”为“开”状态

口相连接，要特别强调的是，必须用“泰克”或“安捷伦”等按国际标准生产的专用串口连接线，将“通信扩充模块”中的串口与电脑主板的串口连接好，至此，用电脑直接获取图形所需要的硬件部分工作准备就绪。

二 用电脑直接获取图形所需要

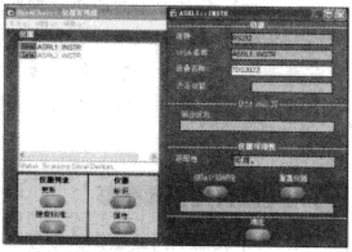


图9 输入仪器型号名称

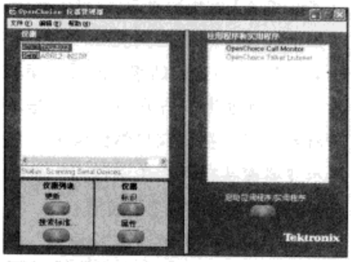


图10 “仪器管理器”对话框(二)

三 软件准备

1. 用电脑直接获取图形所需要的支持软件(这里指“泰克”数字存储示波器)，读者可以点击www.tek.com，然后在搜索栏中输入软件名“OpenChoice Desktop”，搜索到软件后，先注册后下载，该软件约132MB，一般将其安装在默认的路径C:\下，安装完成后在桌面上有两个快捷键图标，如图5所示；并且在桌面右下角有一个“VISA Resource Manager”小图标，见图6。

2. 右击电脑屏幕右下角“VISA Resource Manager”小图标，再点击“InstrumentManager…”选项，如图6所示。

3. 将出现的“仪器管理器”对话框如图7所示，点击左下角“搜索标准”按钮。

4. 将出现的“搜索标准”对话框中的“串口”由原来的“关闭”(左图)修改成“开”(右图)，最后点击“完成”退出对话框，如图8所示。

5. 再次点击“仪器管理器”对话

图11 打开的“OpenChoice Desktop”界面

图12 “选择仪器”对话框

测试展台

Agilent U1600A系列手持式数字示波器

AgilentU1600A系列手持式数字示波器是全功能手持示波器，它面向各行各业自动化、过程控制、设备维护和汽车维修业，为它们提供高性能的通用示波器，目前有两种型号：U1602A（20MHz带宽）和U1604A（40MHz带宽）。

该系列示波器的主要特点为：

1. 三合一的解决方案——不仅提供全功能示波器的功能，还包括6000计数的数字多用表和数据记录功能；

2. 清晰可辨的波形——提供4.5英寸LCD彩色显示器，能容易地同时观看两个通道的信号；

3. 有效捕获信号异常、偏离和毛刺——提供达200MS/s的实时采样率；

4. 深存储器保存——提供125Kbyte存储器深度，这是同档次竞争手持式示波器存储器深度的250倍。

（资料室）

图13 识别到和显示出仪器"TDS 2022"

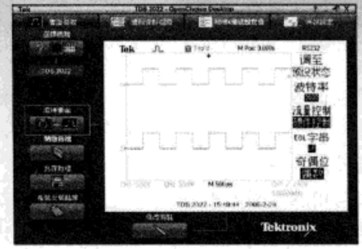


图15 获取的示波器"校准信号"方波图形

图16 "修改附注"对话框

图14 执行截图操作进度

框中的"属性"按钮，稍等片刻，在出现的"信息"栏下的"设备名称"栏右侧输入你所用的示波器型号，这里填写入"TDS2022"，然后点击下方"确定"，如图9所示。

6. 要等稍长一段搜索时间，再次出现的"仪器管理器"对话框的串口1(ASRL1)已经变成"TDS2022"了，如图10所示。

7. 关闭"仪器管理器"对话框；双击桌面上的"OpenChoice Desktop"快捷键图标，打开界面，如图11所示。

8. 双击界面左上角"选择仪器"按钮，将出现"选择仪器"对话框，其中"TDS2022"已被选中呈黑色，再点击右侧"识别"按钮，如图12所示，稍等片刻，左侧白色方框下方会出现"TDS2022"字样；然后点击"确定"按钮，稍等片刻，在"OpenChoice Desktop"界面左上方"选择仪器"按钮下方，将出现"TDS2022"字样，如图13所示。

以上操作都是为下一步示波器能顺利截获波形做的相关串口、支撑软件设置等工作，至此，用电脑直接获取图形所需要的硬件和软件都已准备就绪。

四 用电脑直接获取图形

1. 将示波器的两通道探头都接到面板右下角的"探头元件连接器"上（请参阅《无线电》杂志2009年第3期《如何捕捉非周期性突发脉冲信号》一文的图1说明），调整示波器，使屏幕显示出两通道的方波(注：这里是举例需要，读者在截获具体图像时，应将示波器探头接到相关测试点上使示波器屏幕显示出要截获的波形)。

2. 点击图13中的"取得画面"按钮，机器开始执行操作，这一步骤执行进度比较慢，需耐心等待一段时间，如图14所示。

3. 将示波器两探头接到"探头元件连接器"上所获取的方波图形如图15所示。

4. 点击屏幕下方"修改附注"按钮，将弹出对话框如图16所示，显示的是机器型号、截图时间等信息。你可以在栏中修改，比如在时间的后面加上图号"G1"、"G2"、"G3"等，以区别多幅截图，但这里只能输入英文，不支持中文，修改后按"确定"按钮退出，这样就能在图15屏幕下方附注中、时间后面加上"G1"等字样了。

5. 点击图15左侧"另存新档"按钮，就可以将截图保存到你电脑中新建的文件夹里，保存的截图后缀为".bmp"，可以用任何一款看图软件打开观看。另据了解，近年推出的新款数字存储示波器还带有USB接口，不仅可以将截图等资料直接保存到U盘中，而且还可以将数字存储示波器一些性能指标、设置参数等资料保存到U盘中，读者可以按照产品说明书去操作这一功能。

电脑变示波器——新一代虚拟测试系统（1）

◎王洪伟

几乎每台电脑或掌上电脑都有一个内置声卡。声卡通常被用来作为音频输入、输出设备，用于记录、合成和回放语言、音乐和歌曲。然而，声卡其实可以做得更多。从测控的角度来看，声卡是一个具有双通道模数转换（ADC）和双通道数模转换（DAC）的信号采集和输出设备。它在音频范围内具有平滑的频率响应，采样频率通常为44.1kHz和48kHz，最大可达192kHz，采样位数通常为16比特，最大可达24比特。由于声卡内部都带有增益控制（例如：话筒音量控制、话筒提升控制、线路输入音量控制），即使在不外加信号放大或衰减电路的情况下，它也可以测量从1微伏到1伏左右的信号。声卡支持以连续数据流模式工作，因此可完全利用电脑自身的内存（从数百MB到数GB）或电脑的硬盘（从数十GB到数百GB）来进行数据的不间断存储。与普通的独立式数字存储示波器相比，基于电脑声卡的测试系统的存储深度极大。今天个人电脑的运算速度和存储能力已远非20年前的286中央处理器、1MB内存、10MB硬盘空间可比，可实时进行包括频谱分析所需要的快速傅里叶变换（FFT）等在内的复杂运算，这使得以前需要采用极其昂贵的独立式传统仪器才能实现的功能，可通过电脑虚拟仪器软件以极低的成本来实现，而且维护方便，可不断升级。

测量精度由声卡的质量决定。通常是外置声卡最好，其次是内置独立声卡，最后是板载声卡。专业级声卡优于消费级声卡。一块专业级声卡的总谐波失真+噪声（Total Harmonic Distortion plus Noise，THD+N）可小于0.001%(-100dB)，信噪比（Signal-to-Noise Ratio，SNR）可大于110dB，带宽可达1Hz～96kHz，因此能几乎完美地测量音频甚至略微超过音频范围的信号。从价格上讲，即使是专业级声卡，其价格也远低于同类的专业ADC或DAC卡。声卡的时基精度通常为0.00x%，即：几十ppm。例如，一个时基精度为0.002%的声卡，在采样频率为48kHz时，其误差仅为0.96Hz。

那么，声卡适合测量什么呢？它可以近乎完美地测量任何在音频范围内的信号，例如：声音、振动、心肺音、脑电、心电、地震波，电源谐波等，根据所用传感器的不同而不同，当然还要看所采用的软件所提供的功能。目前市面上基于声卡的虚拟仪器软件有不少，从免费的到售价上万元人民币的都有。部分付费软件也提供了免费下载，以让用户试用其部分或全部功能。配上这类软件，无需添加任何ADC和DAC硬件，即可将一台电脑或掌上电脑变成一台集示波器、频谱分析仪、信号发生器、频率计、声压计等多种功能于一体的测试仪器。

基于声卡的测试系统的基本架构

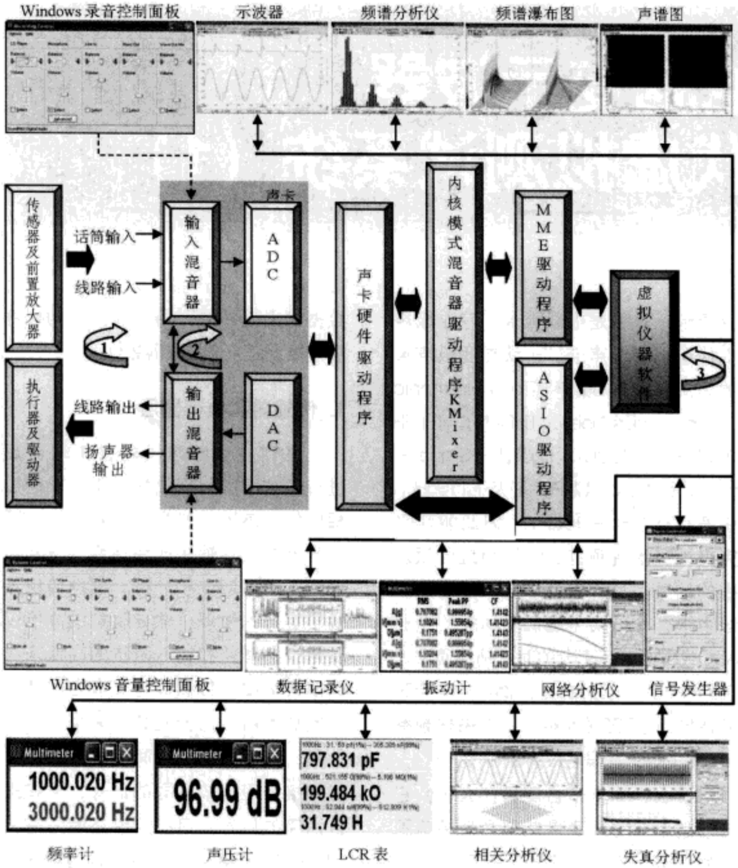
附图为基于声卡的测试系统的基本架构图，可分为4层。最底层为传感器和执行器层，其上为数据采集和数据输出硬件层，再上面为驱动程序层，最上面为虚拟仪器软件层。

1. 传感器和执行器层

任何在音频范围内甚至略微超过音频范围的物理信号，都可以通过相应的传感器转变为电信号，然后通过声卡的话筒输入或线路输入送到声卡内，进行测试和分析。根据传感器输出信号的强弱、输出阻抗的高低以及声卡的增益和输入阻抗的高低来决定是否需要在传感器与声卡之间插入前置放大器。与普通数据采集卡不同的是，声卡自身已带有前置放大器，能直接接受比较微弱的信号，例如来自话筒的信号。有些声卡还能为需要+15~+48V幻象电源的专业话筒提供电源。执行器用于将声卡线路输出口或扬声器输出口送出的电信号，直接或在经过驱动器后转变为物理量，例如扬声器、耳机等。传感器和执行器层也可以是直接对电信号进行输入、输出的示波器探头或测试导线。

2. 数据采集和数据输出硬件层

此层由声卡构成。输入声卡的模拟信号先经过输入混音器，然后进行模数转换（ADC）变为数字量后上传电脑。输入混音器可通过Windows的录音控制面板来控制，以选择录音音源（例如：话筒输出、线路输入、CD唱机、波形输出混音等）并可独立调节各音源的增益。当声卡用作信号采集器时，通常采用线路或话筒输入。



基于声卡的测试系统的基本架构

话筒输入通常还带有一些高级控件，例如：话筒提升（Microphone Boost）等。若选择“话筒提升”可额外提高话筒增益10倍，即20dB。注意：在将声卡用于测量时，应禁止使用各种音调控制和自动增益控制（AGC），以保持信号的真实性。

电脑输出的数字信号先经过数模转换（DAC）变为模拟信号后，输入到输出混音器，最后从线路或扬声器输出。输出混音器可通过Windows的音量控制面板来控制，以选择放音音源（例如：波形、软件合成器、话筒输入、线路输入、CD唱机等）并可独立调节各音源的增益。当声卡用作信号发生器时，应选用“波形”作为放音音源，而将其他音源静音。

注意：Windows Vista与以前的Windows版本相比，在声卡的输入输出混音器的操作方式和界面上有所不同，但都能实现相同功能。

3. 驱动程序层

此层由声卡硬件驱动程序、内核模式混音器驱动程序（KMixer）、MME（Microsoft Multimedia Extension）驱动程序或ASIO（Audio Stream Input / Output）驱动程序等构成。声卡硬件驱动程序是最底层的直接与声卡硬件打交道的驱动程序。内核模式混音器驱动程序是Windows XP及以前的几个版本所采用的一个部件，其功能是将不同源头的数据流混合，若有必要的话，自动进行采样频率、采样位数和格式的转变，从而减轻声卡硬件的负担。内核模式混音器的使用通常会给信号的传递带来20～30ms的延迟，这在对实时传送要求很高的场合，例如实况广播、专业录音等，会造成问题。但若仅从信号测试的角度来说，这点延迟在绝大多数情况下是可接受的。更应当引起注意的是采样频率的自动转换问题。很多声卡其实只支持48kHz和其整数倍的采样频率，但当通过应用软件选择其他采样频率时，声卡仍然能按所要求的任意采样频率采集或输出信号，这是由于内核模式混音器能自动转换采样频率的缘故。从信号测试的角度来说，此功能有利也有弊。例如在分析低频信号时，有时需通过降低采样频率而不是增大FFT点数来提高频谱分析的频率分辨率，这时就可以利用内核模式混音器的自动转换采样频率功能来实现。采样频率的转换有可能造成信号的失真，这在对测量精度要求很高的场合，例如在对设备做失真分析时，要尽量避免，方法是只采用声卡硬件直接支持的采样频率。

MME驱动程序是Windows下的声卡的标准驱动程序之一，适用于任何与Windows兼容的声卡。MME驱动程序必须经过内核模式混音器与声卡硬件驱动程序连接。

ASIO是由德国Steinberg Media Technologies GmbH公司推出声卡驱动接口协议，它直接同声卡硬件驱动程序连接，因而避免了由内核模式混音器造成的延迟问题，同时它不支持采样频率的转换，保证了信号的真实性。ASIO驱动程序只有部分声卡支持，主要在专业音频领域用得很多。对于不支持ASIO驱动程序的声卡，也可以采用一些通用的ASIO驱动程序来实现ASIO功能，最常见的是ASIO4ALL免费软件，可到www.asio4all.com下载。

安泰信ADS1000CE系列数字示波器

测试展台

丰富的触发功能

ADS1000系列产品具有更丰富的触发功能：边沿、视频、交替、延迟等多种触发方式，更大范围地满足了用户的需求。其中交替触发方式可用于同时观察两路不相关信号，可为两个通道选择不同的触发类型，是一种模拟示波器的功能在数字示波器中的重现，更体现了ADS1000系列产品研发团队在技术领域的强大。

FFT波形分屏显示功能

通道波形与FFT波形分屏同时显示，分屏模式下屏幕上下部分被重新分割为垂直方向为8格，如同全屏幕模式下同时观察两个波形，这种方式使用户观察波形更清晰、方便，同时也体现了ADS1000系列产品更人性化的一面。

弹出式菜单模式

ADS1000系列产品采用弹出式菜单显示模式，菜单可随时隐藏起来使波形12格全屏显示，与其他同档次的数字示波器相比，这种模式更灵活，用户操作更方便、更能清晰地观察波形。

光标测量功能

ADS1000系列光标测量功能有3种模式：手动模式、追踪模式、自动模式。用户可根据自己的需要灵活选择测量模式，从而更轻松地在屏幕右上角读取测量结果或体验全自动的智能设计模式。

Pass/Fail功能

用户可使用ADS1000系列提供的Pass/Fail功能进行产品测试，通过一系列设置自动输出测试结果，大大提高了产品的生产效率。

强大的EasyScope3.0测控软件

EasyScope3.0测控软件适用于ADS1000系列产品的性能强大的软件系统，此软件能够兼容RS-232和USB Device，实现计算机与示波器间的通信，进而实现远程控制。同时此软件能够自动实时刷新波形数据，提供波形、测量数据、采样数据的计取、保存及打印功能，示波器屏幕图片的完全真实传送，此外还具有配置上传下载功能，最快基于毫秒级的PC与ADS1000系列之间的交互，使用户更容易分析、研究波形与数据。(资料室)

注意：Windows Vista与以前的Windows版本相比，在驱动程序层的结构上有很大改变，但仍然支持MME驱动程序，也能运行ASIO驱动程序。

4. 虚拟仪器软件层

此层由虚拟仪器应用软件构成，可对声卡采集到的原始信号进行实时处理、分析和显示，同时也能将软件产生的数据通过声卡输出，可实现示波器、频谱分析仪、频谱瀑布图、声谱图、数据记录仪、振动计、网络分析仪、频率计、声压计、LCR表（即：电感电容电阻表）、相关分析仪、失真分析仪、信号发生器等功能。不同的虚拟仪器软件的性能和功能不尽相同。

5. 输出输入回路

声卡能同时进行模拟输出和输入。可利用这一特点，在以上不同的层级处建立回路，实现不同的功能。

第一级回路可建立在声卡硬件的外侧（见附图中箭头1），将信号发生器软件从扬声器输出口或线路输出口输出的信号送入被测系统，然后从话筒输入口或线路输入口采集从被测系统返回来的响应信号，再由虚拟仪器软件进行分析，最后得到被测系统的特征参数。被测系统可以是放大器、扬声器、音响系统、厅堂、甚至电阻、电容、电感等。若仅用一根短导线将声卡的输入输出连接起来，则可对声卡自身的性能参数进行测量。

第二级回路可建立在声卡的混音器级（见图1中箭头2），将信号发生器软件从DAC输出的信号返回到ADC的输入端，再由虚拟仪器软件进行采集分析。可通过Windows的录音控制面板来建立此回路，只需要在录音控制面板中选择“波形输出混音”或类似名称的录音音源即可。这种工作模式很适合于教学，只需要一台电脑，无需其他任何外部设备，即可用信号发生器软件产生各种信号，然后用示波器和频谱分析仪软件进行分析。由于信号通过了声卡中的一些硬件，不是完全的理想信号，因此有真实感。

第三级回路可建立在虚拟仪器软件级（见图1中箭头3），直接将信号发生器软件生成的数字信号送入示波器和频谱分析仪等虚拟仪器软件进行分析，其特点是信号是完全理想的，非常适合用于教学。

下期将介绍几款在国际上比较流行的支持声卡的多功能虚拟仪器软件，包括Multi-Instrument、DSSF3、SpectraPLUS、Soundcard Oscilloscope、VisualAnalyzer等。

电脑变示波器——新一代虚拟测试系统（2）

◎王洪伟

上一期讲解了基于声卡测试系统的基本架构，本期为大家介绍几款可免费下载试用的测试软件。

支持声卡的虚拟仪器软件按界面形式可分为两类：一类采用的是与传统仪器面板相似的软件界面，其优点是界面简单，熟悉传统仪器面板的用户比较容易上手，但缺点是软件功能不易扩展，由于传统仪器面板占用了宝贵的屏幕资源，留给数据显示的空间较小，图形窗口不易缩放，因而用户不易看清楚所显示数据的细节,这类界面通常不支持多窗口同时显示（例如同时显示示波器和频谱分析仪）；另一类采用的是Windows的标准控件和窗口，屏幕资源利用率高，支持多窗口同时显示，图形窗口缩放容易，用户可看清楚所显示数据的细节。这类软件通常功能强大，但初级用户可能会感觉不如前一类界面直观。

下面介绍几款国际流行的支持声卡的虚拟仪器软件，入选的必要条件是：

1. 必须在具有独立域名的网站上提供免费下载。

2. 软件可以是免费的，也可以是付费的，但在试用期内，可无限制地使用全部或绝大部分功能。

3. 软件必须是多功能的，最少必须具备示波器、频谱分析仪和信号发生器的基本功能，而且这些基本功能不需要编程实现。

4. 至少支持英文，最好支持中文。

虽然以下介绍的软件都是基于Windows，但也可在其他操作系统中通过相应的Windows仿真软件运行，例如在Linux下可采用WINE，在Mac OS下可采用Vmware Fusion等。

一 Multi-Instrument(万用仪)3.1

Multi-Instrument是由虚仪科技（Virtins Technology）研发的一款基于电脑的多功能虚拟仪器软件。它支持多种硬件，从几乎所有电脑都配备了的声卡到专用的ADC和DAC硬件，例如：与美国国家仪器公司NI DAQmx兼容的各种ADC和DAC卡、虚仪科技的VT DSO-2810F等，支持声卡MME和ASIO驱动程序，采样位数可为8、16、24bit。它包括下列仪器和功能：

1. 示波器

支持双踪波形、波形相加、波形相减、波形相乘、李莎育图、电压表、瞬态信号捕捉、长时间信号录制。支持长波形文件的逐帧读入。支持各种数字滤波：低通、高通、带通、带阻、任意，滤波器种类包括：FFT、FIR、IIR。支持多种触发功能，包括自动触发、正常触发、单次触发、触发延迟等，并支持“卷动”显示方式。可输入传感器的灵敏度，以将电量转变为工程物理量显示。可根据被测信号的特点自动选择采样频率、扫描时间和输入增益。

2. 频谱分析仪

支持幅度谱、倍频程分析（1/1、1/3、1/6、1/12、1/24、1/48、1/96）、参数测量（峰值频率、

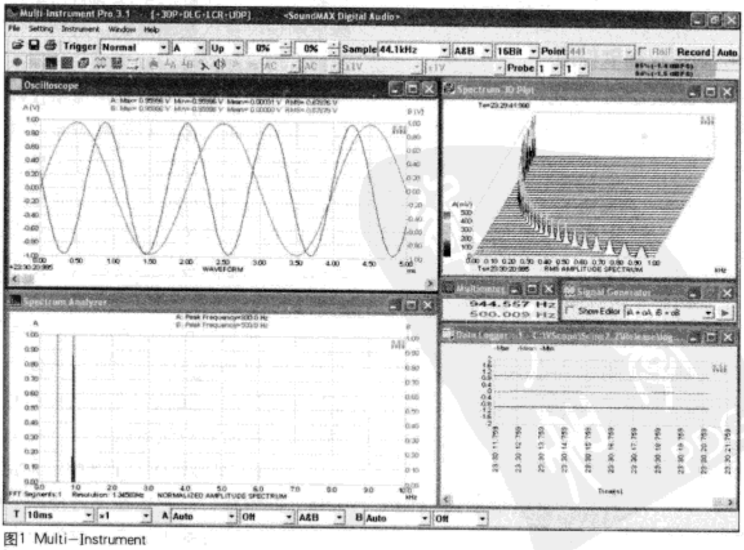


图1 Multi-Instrument

THD、THD+N、信噪比SNR、信号与噪声加失真之比SINAD、噪声电平NL、互调失真IMD（SMPTE、DIN、CCIF）、带宽、串扰、谐波、多峰检测、用户自定义频带中的能量等）、相位谱、自相关函数测量、互相关函数测量、相干函数测量、传递函数（即频率响应，包括幅频响应和相频响应）测量、冲激响应测量。帧内处理支持频率补偿、频率加权、除去直流、移动平均平滑。帧间处理支持峰值保持、线性平均和指数平均。支持55种窗函数和窗重叠。FFT点数可达4194304。峰值频率的检测精度高于由FFT所决定的频率分辨率，即：[采样频率]/[FFT点数]。

3. 信号发生器

包括函数发生器、任意波形发生器、白噪声发生器、粉红噪声发生器、多音合成发生器、MLS（Maximum Length Sequence，最大长度序列）发生器、音阶发生器、DTMF（Dual-Tone Multi-Frequency，双音多频）发生器、扫频／扫幅发生器（线性和对数）、猝发信号发生器等。支持信号发生器与示波器同步运作及输出信号的渐入与渐出。

4. 万用表

包括电压有效值显示、dBV显示、dBu显示、声压dBSPL显示、声压dBA（A加权）显示、声压dBB（B加权）显示、声压dBC（C加权）显示、频率计、计数器、转速计、占空比计、频率/电压变换显示、周期有效值显示、周期平均值显示、振动计。

5. 频谱3D图

频谱3D图用于跟踪频谱随时间的变化，包括瀑布图和声谱图。配有各种调色板，频谱截面可多达200个。

6. 数据记录仪

支持多达129种导出参数（例如：信号的有效值、峰值频率、声压值等）的长时间记录和显示。

7. LCR表

可测量电感、电容、电阻以及由它们组成的网络的阻抗。用户可自行配置一个或多个测试步骤，并为每个测试步骤选定不同的测试信号频率，以测量被测器件（例如扬声器）在不同频率下的阻抗。

8. 设备测试计划

可配置并运行用户自定义的设备测试步骤。它利用了声卡能同时进行输入、输出的特点，来向被测设备（DUT）输出一个激励信号，同时采集从被测设备返回的响应信号并进行分析。支持生成不同的激励信号，并能用不同的方法来分析响应信号，可生成测试报告，并对测试结果绘图。可用于对被测设备的合格与不合格检验、测量THD随频率或幅度的变化、用步进扫频信号测量被测系统的频率响应等。

Multi-Instrument中的各种仪器可同时工作。该软件采用可任意缩放的图形窗口，窗口内显示的图形可自由缩放，可用光标读取每个数据点的数值，可配置多条参考曲线，可用Windows的剪贴板复制窗口内的文本数据或图像，可保存所配置的参数以便将来调用。该软件支持多种语言包括简体中文，可到www.virtins.com（英文）或www.virtins.com/cn（中文）下载，可无限制地免费试用全部功能21天。Multi-Instrument的软件使用许可证分为6个级别和5个附加模块，售价为24.95~499.95美元。

Multi-Instrument还有一个掌上电脑版本：Pocket Multi-Instrument 1.0，支

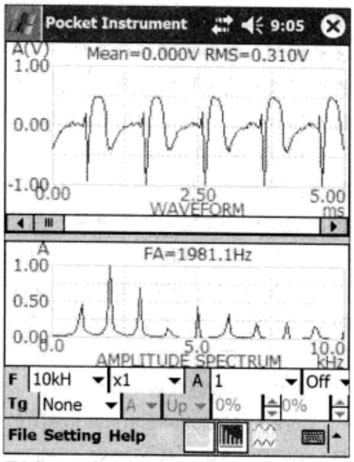


图2 Pocket Multi—Instrument

持Windows Mobile 2003或以上的掌上电脑操作系统，包括示波器、频谱分析仪和信号发生器，但功能比电脑版少。掌上电脑一般都带有内置话筒，因此可用此软件直接采集和分析声音信号。有的掌上电脑还支持外接话筒，可用其话筒输入来测试外部电信号。此软件提供免费全功能试用，分3个级别，售价为24.95~49.95美元。

三 DSSF3(Diagnostic System for Sound Field 声场诊断系统) 5.1

DSSF3是由Yoshimasa Electronic Inc.研发的一款基于电脑声卡的多功能虚拟仪器软件，主要用于声场和音频测试。它支持声卡MME和ASIO驱动程序，采样位数为16bit。整套软件包括3个独立可执行文件：实时频谱分析仪（Real Time Analyzer）、噪声测量系统（Noise Measurement System）、声音分析系统（Sound Analyzing System）。

1. 实时频谱分析仪

包括信号发生器、FFT分析仪、示波器、幅频响应、THD分析仪、冲激响应、相关函数3D图、录音机8个相对独立的模块。其中示波器具有自动触

发和单次触发功能，支持双踪波形、波形相加、波形相减和李沙育图，并提供了高通滤波和低通滤波选项。录音机模块可进行长时间录音和放音。FFT分析仪包含功率谱、1/1～1/24倍频程、瀑布图、相关图（包括自相关和互相关）、相位谱、声谱图、互功率谱、相干图、倒谱图等模式。FFT最大点数为65536，支持5种常见的窗函数、频率加权（A、B、C加权）、峰值频率检测、峰值保持、平滑和移动平均，支持对话筒幅频响应的校准。

与前述的Multi-Instrument不同的是，在DSSF3中，幅频响应、THD分析仪、冲激响应是单独的模块，每个模块包含有自己的独立的信号发生器功能和信号分析功能。幅频响应模块支持3种测量系统幅频响应的方法：正弦连续扫频、正弦步进扫频、粉红噪声。THD分析仪能够测量用户指定频率处的THD、用正弦步进扫频方式测量THD~频率曲线、用正弦步进扫幅方式测量THD~幅度曲线。冲激响应模块支持两种测量系统冲激响应的方法：最大长度序列MLS和时间拉伸脉冲TSP（Time Stretched Pulse），其测量结果可保存并调入DSSF3中的声音分析系统软件进行进一步的声学参数分析。冲激响应和频率响应描述的都是一个线性时不变系统的固有特征，冲激响应是从时域来描述的，而频率响应是从频域来描述的，它们正好是一对傅里叶变换，因此可相互转换。冲激响应测量一般在室内声学测量中用得较多。

相关函数3D图是DSSF3中的一个比较独特的模块，能够测量自相关函数或互相关函数随时间的变化，类似于频谱瀑布图，只不过每个截面不是频谱而是相关函数而已。测量结果可保存并调入DSSF3中的声音分析系统软件，进行进一步声学参数分析。

信号发生器模块包括：函数发生器、噪声发生器（包括白噪声、粉红噪声、褐色噪声）、扫频／扫幅发生器、脉冲发生器、多音合成发生器、音阶发生器、任意波形发生器。

2. 噪声测量系统

噪声测量系统主要用于环境噪声的记录和噪声的参数测量（例如最大噪声声压等）。支持手动触发噪声录音、电平触发噪声录音、定时触发噪声录音。

3. 声音分析系统

声音分析系统可导入3种类型的数据进行声学参数分析：由实时频谱分析仪输出的冲激响应数据、相关函数3D图数据和由噪声测量系统记录的噪声数据。它主要用于室内声学参数分析，可根据所导入的冲激响应数据推导出音乐厅声学的安藤参数、ISO3382标准的室内声学参数（例如混响时间等）、语音清晰度（包括语音传输指数STI和调制传递函数MTF）、系统的频率响应等；可根据所导入的相关函数3D图数据推出声音的时间和空间的各种属性（例如声强、音调、混响、声源位置、声源宽度等）；可将所导入的噪声数据进行相关分析后推导其时间和空间的各种属性。

DSSF3中的有些模块可同时工作，例如示波器、FFT分析仪、信号发生器等。有些可能起冲突的模块则不能，例如信号发生器和THD分析仪等，这是由于THD分析仪中已含有专用的信号发生器的缘故。该软件的参数调节控件和图形显示在同一面板上，优点是调节比较方便，但同时也局限了用于图形显示的屏幕幅面。它支持屏幕图形复制和按文本方式输出分析结果。DSSF3在建筑物声学分析方面的功能较强，其开发者与在音乐厅声学研究方面造诣颇深的日本神户大学安藤实验室有一定渊源。该软件目前有英文版和日文版，可到www.ymec.com下载，可无限制地免费试用全部功能30天。DSSF3的软件使用许可证分为4个级别，售价为83~990美元。

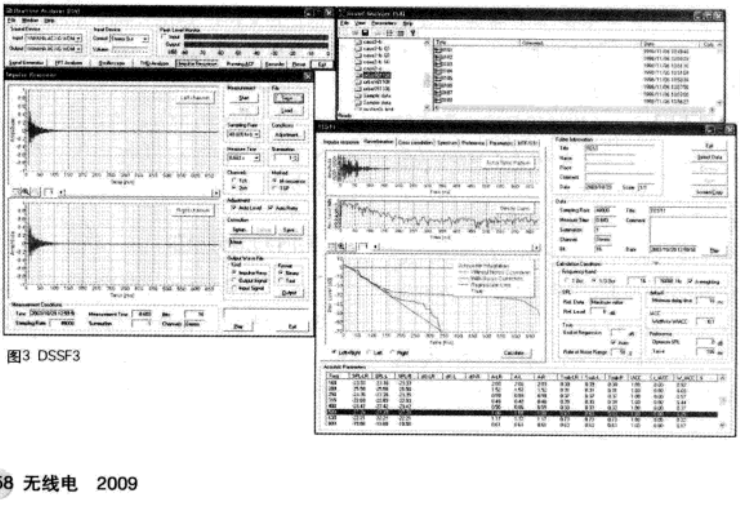


图3 DSSF3

三 SpectraPLUS 5.0

SpectraPLUS是由Pioneer Hill Software研发的一款基于声卡的多功能音频分析仪软件，目前只支持声卡MME驱动程序，采样位数可为8、16、24bit。它包括时间序列（即示波器）、频谱、瀑布图、声谱图、相位谱等几个独立的主窗口，还有信号发生器、峰值频率、峰值频率幅度、总能量、THD、THD+N、THD+N～频率曲线、IMD、SNR、SINAD、噪声系数NF、左右通道的延迟检测器、立体声相位图（其实就是李莎育图）、混响时间（RT-60）、

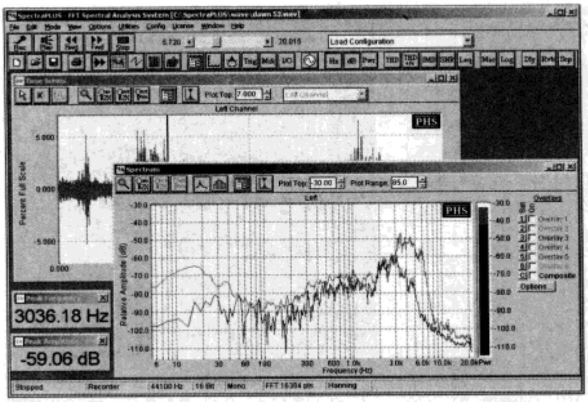


图4 SpectraPLUS

宏命令处理器、等效噪声级（LEQ）、数据记录仪等工具窗口。

其中示波器支持电平触发、边沿触发、延迟触发和超前触发，允许采用不同的工程单位来显示所采集的数据。例如，若所测得的信号为加速度，则可采用加速度的单位来显示。该示波器还提供了一些的数据编辑功能，可选取某段数据来进行数字滤波处理，可选择低通、高通、带通、带阻或任意滤波器，也可将所选取的数据段全部置零或调节其增益。频谱分析中的FFT点数最大可达1048576，支持8种常见的窗函数并允许窗重叠，支持多种频谱平均方法包括线性平均、指数平均、向量平均，并可按与普通声压计的快、中、慢3挡相同的平均方式工作，还可对频谱进行峰值保持、频谱的平滑等操作。该频谱分析仪还支持互功率谱、相干函数、传递函数、倒谱、功率谱密度PSD、频率加权（A、B、C）、话筒幅频响应补偿、倍频程分析（1/1、1/3、1/6、1/12、1/24、1/48、1/96）等功能。与DSSF3类似，SpectraPLUS也提供了一个独立的测试THD+N～频率曲线的窗口，测试信号为正弦步进扫频信号，而这在Multi-Instrument中需要通过调入该软件的预先定义好的设备检测计划或自行配置设备检测计划来实现。

前面曾经提到，FFT的频率分辨率等于[采样频率]/[FFT点数]，因此为了提高FFT的频率分辨率，可增加FFT点数或降低采样频率。在某些时候有必要通过降低采样频率来提高频率分辨率，对于Multi-Instrument或DSSF3等软件来说，可直接利用Windows的内核模式混音器的采样频率自动转换功能来实现，其缺点是降低采样频率后数据的质量由Windows的内核模式混音器决定，无法从外部进行控制。而SpectraPLUS提供了一个降低采样频率的选项，称为Decimation，降频比在1～50之间可调，并可选择是否在降低采样频率之前对原始数据施加低通数字滤波，以滤除奈奎斯特频率（即：1/2采样频率）以上的高频信号在采样频率降低后对数据的影响，避免所谓的频率混叠现象发生。

信号发生器可输出以下信号：白噪声、粉红噪声、猝发白噪声或猝发粉红噪声、1kHz正弦测试信号、多音合成信号、猝发正弦信号、IMD测试信号、线性/对数连续扫频信号、线性/倍频程步进扫频信号、对数连续扫幅信号、锯齿波、三角波、脉冲、矩形波、DMTF、WAV波形文件。

SpectraPLUS支持宏命令编程，这与Multi-Instrument的设备检测计划类似，用户可通过级连多个简单的指令来配置并运行自定义的测试步骤，实现整套测试方案的自动化执行。SpectraPLUS也具有数据记录仪功能，能长时间连续地记录十几种参数，包括：峰值频率、THD，THD+N等。SpectraPLUS还支持动态数据交换（DDE，Dynamic Data Exchange），可与支持DDE的第三方软件（例如Excel）连接或供第三方软件进行二次开发。

SpectraPLUS有3种工作模式：实时模式、后处理模式和录音模式，软件的有些功能只能在某些模式下使用。在录音模式下，可连续不断地利用硬盘进行长时间录音，同时屏幕上的示波器和频谱分析将维持刷新。为了确保不间断地录制，优先权将给予录制过程而不是数据分析和显示过程。各种仪器可同时工作。该软件采用可任意缩放的图形窗口，窗口内显示的图形可自由缩放，可用光标读取每个数据点的数值，可配置多条参考曲线（在该软件中称为Overlay），可用Windows的剪贴板复制窗口内的文本数据、图像或WAV波形数据。很多待测参数，如THD等，都有独立的可缩放的窗口显示。可以保存参数配置，以供将来调用。

由于历史原因，SpectraPLUS有几个变种，包括SpectraRTA、SpectraPRO和SpectraLAB，但自从其原开发者从Sound Technology分离出来后，就只维护SpectraPLUS了。SpectraPLUS只支持英文，可到www.spectraplus.com下载，免费试用30天。SpectraPLUS的软件使用许可证分为多个级别，售价为295~1295美元。

四 Soundcard Oscilloscope 1.3

Soundcard Oscilloscope是由Christian Zeitnitz个人采用NI Labview开发的一款基于电脑声卡的多功能虚拟仪器软件，只支持声卡MME驱动程序。它包括示波器、X-Y图（即李莎育图）、频谱分析仪、信号发生器和录音机功能。它的软件界面部分地模拟了传统仪器的面板，便于初学者操作。其缺点是不能同时显示以上各仪

器，只能分页显示。示波器支持自动触发、正常触发和单次触发，采样时间长度的选择范围为1ms～10s，可根据被测信号自动选择采样时间长度和触发电平，可显示信号的峰-峰值、有效值和峰值频率。在X-Y图中，采样长度在10ms到1s内可选。在频谱分析仪中，横坐标和纵坐标皆可按线性或对数比例显示，并可设置一个十阶贝塞尔数字滤波器，可将其设置为高通、低通或带通滤波器，并可从示波器中观察滤波后的效果。信号发生器可输出正弦波、三角波、锯齿波、白噪声和扫频信号。该软件只支持44100Hz的采样频率和16bit的采样位数。在显示频谱分析仪时，采样时间长度被强制固定在100ms上，这是一个明显的局限。

Soundcard Oscilloscope目前支持几种语言，其中包括英文，但不支持中文。软件对于个人或用于非商业用途的教学机构是免费的，可到www.zeitnitz.de下载。

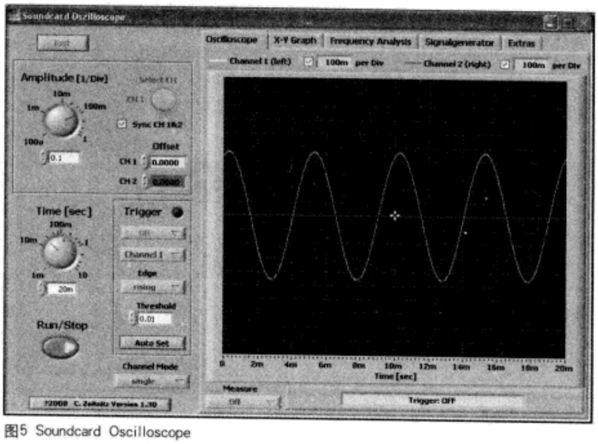


图5 Soundcard Oscilloscope

VisualAnalyzer 2009

VisualAnalyzer 2009是由Alfredo Accattatis个人开发的一款基于电脑声卡的多功能虚拟仪器软件，只支持声卡MME驱动程序，采样位数可为8、16和24bit。它由示波器、频谱、相位谱、信号发生器、频率计、电压表、数字滤波器等模块构成。示波器支持触发功能，而且两个通道的触发参数能独立调节，可实现交替触发（ALT）。可显示双踪波形、波形相加、波形相减、李莎育图以及通过频谱分析后得到的倒谱。频谱分析仪支持7种常见的窗函数，FFT点数可达65536点。支持多帧频谱平均、峰值保持、频率补偿、倍频程分析（1/1、1/3、1/6、1/9、1/12、1/24）。信号发生器可输出正弦、方波、三角波/锯齿波（角度可调）、白噪声、粉红噪声、正弦连续扫频、脉冲等信号。它还包含一个多音合成发生器，允许多个不同频率、不同振幅、不同初始相位的正弦波，先各自通过一个常数、正弦、方波或三角波进行调幅后，再叠加在一起。数字滤波器支持FIR低通、FIR高通、FIR带通、FIR带阻、IIR陷波器、IIR倒置陷波器、半波整流。该软件还能测量THD和THD+N等参数。

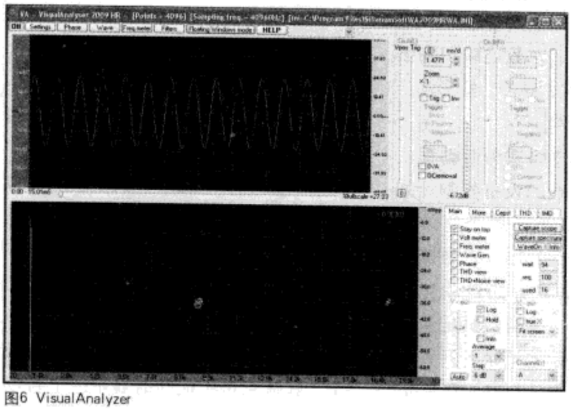


图6 VisualAnalyzer

VisualAnalyzer还有一个比较独特功能，那就是它可以在示波器中重构原模拟信号波形，此功能在该软件中称为D/A。我们知道，数字示波器一般是直接将所采集到的数据点用直线连接起来形成波形图的，有的数字示波器也支持用曲线拟合的方式将数据点连接起来，为了在示波器中比较真实地反映原信号的波形，一般要求示波器的采样频率大于被测信号的5～10倍，也就是说一个信号周期中最少要求采集5～10个数据点。而根据奈奎斯特采样定理，采样频率只需要大于被测信号中最高频率的2倍即可准确地测量出被测信号的频谱，并重构原模拟信号，该软件正是利用这个原理来实现模拟信号的重构的。例如，当采用44100Hz的采样频率来采集一个20kHz的正弦信号时，每个信号周期只采集了2.205点，直接利用采集点绘制出来的图形将完全不是正弦波形，但是在频谱分析仪中却能准确地得到该信号的频谱，通过一定的算法，即可重构原模拟信号，在示波器中得到一个完美的正弦波。

在VisualAnalyzer中，各种仪器可同时工作，图形窗口可任意缩放，窗口内显示的图形也支持缩放功能。当程序退出时，能自动保存当前的参数设置。不过笔者在测试中发现，该软件屏幕图形的刷新有较明显的闪烁感。该软件只支持英文，到目前为止仍然是免费软件，可到www.sillanumsoft.org下载。

电脑变示波器——新一代虚拟测试系统（3）

◎王洪伟

上一期我们介绍了几款具体的虚拟测试软件，本期再为大家讲解一下这些软件的具体应用和操作。

一 输入及输出连接

对基于声卡的系统，被测信号应连接到声卡的话筒输入口或线路输入口。生成的信号可从扬声器输出口或线路输出口输出。

通常，声卡话筒输入口的输入阻抗在600Ω～50kΩ之间（取决于声卡），它的模/数转换满程电压在±1mV～±500mV之间(取决于声卡)，可通过Windows控制面板中的录音控制进行调节。若声卡带有外部硬件增益调节旋钮，也可由该旋钮进行调节。话筒输入口通常只允许单通道输入。

声卡线路输入口的输入阻抗通常在1～50kΩ之间（取决于声卡），它的模/数转换满程电压在±500mV～±2V之间（取决于声卡），可通过Windows控制面板中的录音控制进行调节。若声卡带有外部硬件增益调节旋钮，也可由该旋钮进行调节。在可能的情况下应尽量使用声卡的线路输入来检测信号，因为它的信噪比（SNR）和带宽都比话筒输入口好。

声卡线路输出口的输出阻抗在20～500Ω之间（取决于声卡），能输出大约2V的信号。它比扬声器输出口的信噪比（SNR）高。

声卡扬声器输出口的输出阻抗在4～8Ω之间（取决于声卡），能输出大约2W的功率。声卡的耳机输出口的输出阻抗在4～100Ω之间（取决于声卡），能输出约100mW的功率。

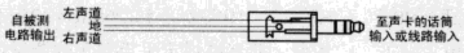


图1 最简单的输入连接方式

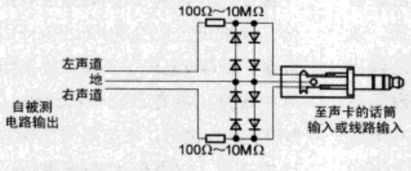


图2 具有简单过压保护的输入连接方式

图3 具有简单短路保护的输出连接方式

最简单的输入连接就是直接将被测信号连到声卡的线路输入口或话筒输入口，如图1所示。请注意这种连接要求您额外小心，在连接前必须保证被测信号的幅度在声卡所允许的范围内，否则可能会烧坏声卡甚至电脑。声卡通常只允许不超过3V的电压输入（取决于声卡）。

为了避免过大的电压意外地进入声卡，可采用图2所示的限压电路。两个串联的硅二极管将输入电压钳制在2×0.65=1.3(V)左右。如果声卡的模/数转换满程范围因此受到限幅影响，则可多串联一个硅二极管以将输入声卡的电压钳制在3×0.65=1.95(V)左右。当被测信号幅度超过声卡模/数转换满程电压时，应将它衰减后再连入声卡。最简单的衰减方法就是在信号与声卡之间添加一个串联电阻，由此电阻与声卡的输入阻抗构成一个分压电路，电阻的阻值越大，衰减比越大，此测量电路的输入阻抗就越高。为保证测量的准确性，被测电路在被测点处的输出阻抗应小于声卡测量电路的输入阻抗，否则被测信号将不能正常地传递给声卡。

声卡的输出连接如图3所示。若不小心将输出短路，串联的电阻可起保护作用。如果你非常小心，则该电阻可以省掉。由于声卡的输出阻抗很小，当连接到外部电路时通常将不会遇到任何阻抗匹配的问题。

应当强调的是，许多声卡（例如台式机的内置声卡和内置交流电源适配器的笔记本电脑的内置声卡）的输入、输出地线通常与交流电源地线相连，当被测电路是浮地（即与电源地线隔离）时，并不会有什么问题。否则，您必须确保声卡的地线与被测电路的连接点处于同样的地电位。

二 声卡选择及自测方法

如前所述，基于声卡的测试系统的测量精度取决于声卡硬件，因此应

根据对测量精度的要求来选择适当的声卡。一般只要求看看波形和频谱分布，则电脑自带的声卡应基本够用，这是由于目前的声卡至少是16位的，比一般数字示波器的8位或12位的采样位数高。但若要用声卡来测试其他设备的性能参数，例如THD、THD+N、SNR、IMD等，则建议所用声卡的参数应比被测设备的相同参数高几倍。例如，若声卡的THD为0.0003%（即：-110.5dB），则它可用于测量THD小于或等于0.001%（即：－100dB）的设备。选择声卡时，可参考声卡制造商提供的性能参数。若用于测量，应选择低噪音、低失真、频带宽、输入阻抗高的声卡。

对于所用声卡的性能也可以进行自测，方法是将声卡的输出端与输入端通过一条立体声电缆连接起来，即左声道输出连接到左声道输入、右声道输出连接到右声道输入，形成一个回路，然后选择一款多功能声卡虚拟仪器软件，利用其信号发生器输出测试信号，再利用其示波器和频谱分析仪来采集并分析返回的信号。下面我们以前面介绍过的Multi－Instrument为例，来介绍声卡自测的操作方法。以下测试皆属相对测量，无需对声卡进行绝对幅度的标定。

1. THD、THD+N、SINAD、SNR、NL测量

通常采用1kHz左右的正弦信号来测试这些参数，测试电平适宜控制在－1dBFS（即ADC满程范围的89%）左右，这样既保证在测试过程中有足够的信噪比，又不至于造成输入通道出现饱和失真。具体测试步骤如下：（1）运行该软件后，选择主菜单上的[设置]>[模数转换设备]，屏幕上将弹出一个对话框，在该框中的“设备型号”栏选择“Sound Card MME”驱动程序，然后在“设备号”栏选择所要测试的声卡，最后按“确认”键。（2）选择主菜单上的[设置]>[数模转换设备]，屏幕上将弹出一个对话框，在该框中的“设备型号”栏选择“Sound Card MME”驱动程序，然后在“设备号”栏选择所要测试的声卡，最后按“确认”键。（3）选择主菜单上的[设置]>[加载面板设置]，屏幕上将弹出一个文件选择对话框，在该软件的安装目录下的psf子目录下选择一个以THD开头的面板设置文件名，例如：“THD_FFT16384_SR48000.psf”。调入该面板设置文件后，软件的各参数将自动被设置到可测量以上THD等参数的状态：FFT点数为16384，采样频率为48kHz，测试频率为999.0234375Hz，采样位数为16位，采样时间为1s，窗函数为矩形窗，窗重叠率为0%。若声卡支持24位采样，宜将输入输出的采样位数改为24位，其他的参数则不宜改动，否则可能会严重影响测量结果。（4）分别按动信号发生器和示波器的启动按钮。则示波器和频谱分析仪将显示所采集到的数据及其频谱。（5）通过点击该软件工具条上的话筒和扬声器按钮，或通过Windows的控制面板，分别调出该声卡的录音控制面板和音量控制面板，然后调节有关的输出和输入增益滑块，使该软件右上方的输入电平峰值指示器显示在－1dBFS左右。这时，频谱分析仪上部显示的THD、THD+N、SINAD、SNR、NL数值即为所测得的结果。注意，声卡的输出和输入增益需要进行组合调节，不能将输出增益设得过大，而输入增益设得过小，或者反之，以使所测得的参数最佳。图4是一台普通的USB声卡的扬声器输出和线路输入的测量结果：THD=0.0056%（－85.1dB），THD+N=0.0104%（－79.6dB），SINAD=79.6dB，SNR=81.1dB，NL=-81.08dBr。

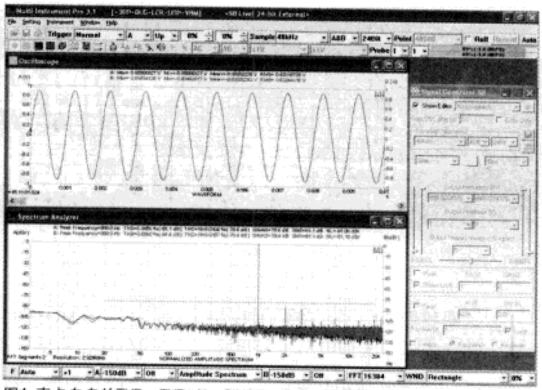


图4 声卡自身的THD、THD+N、SINAD、SNR、NL测量

2. IMD测量

互调现象是指两个或两个以上的不同频率的信号源混合后产生出一些新的频率成分，这些新的频率不是任何一个信号源的谐波。互调失真IMD就是用来衡量这类失真的严重程度的。互调失真IMD的测量有多种标准。其中SMPTE/DIN IMD是最常见的。SMPTE RP120－1983标准和DIN 45403标准相似。两者都规定采用双正弦测试信号，由一个幅度较大的低频信号和一个幅度为前者的1/4的高频信号线性混合。SMPTE定义的是60Hz和7kHz按4:1混合；而DIN定义了多种双频率组合，其中最常见的是250Hz和8kHz。此类IMD定义为边带功率与高频信号功率之比的开方，以百分比或dB表示。计算中所采用的边带为：f_H-f_L、f_H+f_L、f_H-2f_L、f_H+2f_L，其中f_H和f_L分别为测试信号中的高频信号和低频信号。CCIF IMD是另外一种常见的IMD测量，它采用两个频率相近的等幅信号线性混合来作为测试信号。此类IMD定义为互调失

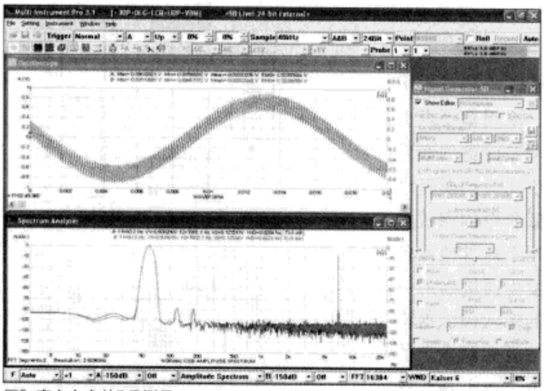


图5 声卡自身的IMD测量

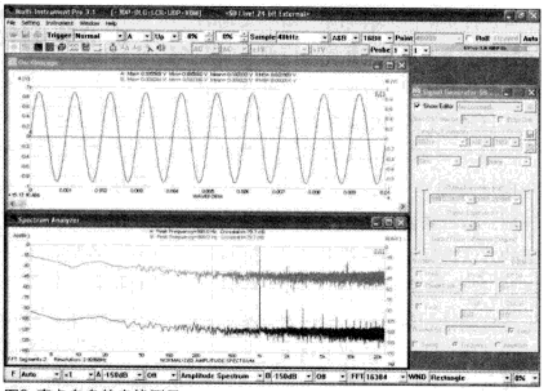


图6 声卡自身的串扰测量

真部分的功率与两个信号源功率之比的开方，以百分比或dB表示。它可进一步细分为两类：CCIF2 IMD和CCIF3 IMD。对于CCIF2 IMD，通常采用的双频组合为19kHz和20kHz，互调失真部分的功率只考虑f_H-f_L，即：只用到了低频的二阶分量。对于CCIF3 IMD，通常采用的双频组合为13kHz和14kHz、14kHz和15kHz、15kHz和16kHz。互调失真部分的功率只考虑f_H-f_L、$2f_L-f_H$、$2f_H-f_L$，即：用到了二阶和三阶分量。具体测试步骤与前述的THD等参数的测试步骤类似，只是需要调用不同的面板设置文件。图5是同一台USB声卡的SMPTE IMD的测量结果：IMD=－73.8dB。测试中调用了一个名为“IMD_SMPTE_60Hz(4)_7kHz(1)_FFT16384.psf”的面板设置文件，FFT点数为16384，采样频率取为48kHz，采样位数为16比特，采样时间为1秒，测试频率为60Hz和7kHz，幅度比为4:1，窗函数为Kaiser6窗，窗重率比为0%。若声卡支持24位采样，宜将输入、输出的采样位数改为24位，其他的参数则不宜改动。

3. 串扰测量

串扰是指信号从一个通道泄漏到另一个通道，一般定义为有信号的通道与没信号的通道中测试信号基波的功率比，以dB表示。没有测试信号通道的输入端必须接信号地，以避免引入噪声。测试信号是单频的，所测得的串扰是对于该频率的串扰。具体测试步骤与前述的THD等参数的测试步骤类似，只是需要调用不同的面板设置文件。图6是同一台USB声卡从A通道到B通道的串扰的测量结果：－79.7dB。测试中调用了一个名为“CrosstalkAB_FFT16384_SR48000.psf”的面板设置文件，FFT点数为16384，采样频率为48kHz，采样位数为16位，采样时间为1s，测试频率为999.0234375Hz，窗函数为矩形窗，窗重叠率为0%。若声卡支持24位采样，宜将输入、输出的采样位数改为24位，其他的参数则不宜改动。

4. 幅频响应测量

幅频响应的测量有多种方法，例如：可采用白噪声＋频谱分析、正弦连续扫频＋频谱分析、正弦步进扫频＋频谱分析、单位冲激＋频谱分析、多音信号＋频谱分析、粉红噪声＋倍频程分析等。具体测试步骤与前述的THD等参数的测试步骤类似，只是需要调用不同的面板设置文件。图7是同一台USB声卡的幅频响应的测量结果，图中可见该声卡在几Hz和20kHz之间具有很平坦的幅频响应，测得的－3dB带宽为5.9～21279Hz。测试中调用了一个名为“MagnitudeFrequencyResponse_WhiteNoise(InterframeAverage).psf”的面板设置文件，FFT点数为16384，采样频率取为48kHz，采样位数为16位，采样时间为200ms，测试信号为白噪声，窗函数为矩形窗，窗重叠率为0%，设置了帧间线性平均，以使所测得的曲线更光滑。若声卡支持24位采样，宜将输入、输出的采样位数改为24位；若声卡支持比48kHz更高的采样频率，

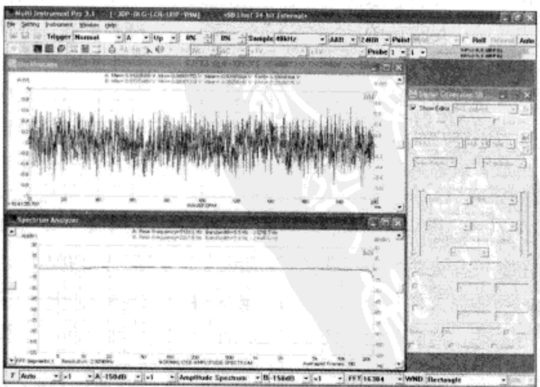


图7 声卡自身的幅频响应测量

则可选择更高的采样频率。看在更高的采样频率下，声卡的带宽上限是否会更高，有的声卡在 192kHz 下，带宽上限可达 96kHz；其他的参数则不宜改动。

Multi – Instrument 还预先配置了一个自动测量声卡各种参数的设备检测计划，运行该计划的方法是：按前面介绍的方法选择好待测声卡，然后选择[仪器]>[设备检测计划]，屏幕上将弹出设备检测计划对话框。点击对话框上部的文件打开按钮，屏幕上将弹出一个文件选择对话框，在该软件的安装目录下的 dtp 子目录下选择“AudioParameter_SR48000_AB.dtp”，然后点击设备检测计划对话框右上角的运行按钮，即可在一分钟左右生成一份完整的测试报告并显示在屏幕上。

三 应用举例

下面介绍几个常见的应用。

1. 实时频谱分析仪

电脑声卡配上相应的虚拟仪器软件和测量话筒，即可构成一台实时频谱分析仪（RTA）。测量话筒一般在音频范围内有很平坦的幅频响应，必要时，还可利用虚拟仪器软件的频率补偿功能对声卡和话筒的幅频响应进行补偿。实时频谱分析仪可用来调节音响系统的频率均衡器，以使整个系统包括放音设备、放大器、音箱在内的幅频响应是平坦的。这类调节通常采用粉红噪音+倍频程分析。测试信号可从放音设备的输入口注入，或将测试信号刻录到CD上，制作成测试CD，再由放音设备播放。可用前面介绍的虚拟仪器软件的信号发生器来生成WAV波形文件格式的测试信号，再用互联网上的一些免费的音频格式转换软件将WAV波形文件转换为与放音设备兼容的文件。这套测量系统若经过声压标定（例如可采用一个参考声压计来标定），则还可用来测量绝对声压。

2. 音频分析仪

独立式音频分析仪的价格从数千人民币到数万人民币，采用基于声卡的多功能测试系统来测试设备的音频参数可获得很高的性价比。前面已经介绍了声卡自身的音频参数的测试方法，这些方法同样适用于对其他设备的测量，只需将信号发生器输出的测试信号送入被测设备的输入端，再将经过被测设备后的信号返回到声卡的输入端即可。可用于测试放大器、扬声器、音响系统、手机、电话、CD机、MP3播放器等设备。若被测设备不支持直接的电信号输入，也可利用软件的信号发生器功能生成测试CD、测试MP3文件等方法来进行测试。

3. 频率响应测试

频率响应测试与前面介绍的幅频响应测试所用的方法有所不同，因为频率响应测试既包括了幅频响应测试，也包括了相频响应测试，而且这里所说的幅频响应不是相对概念的幅频响应，而是绝对概念的增益～频率曲线。频率响应测试也可称为传递函数测试、增益与相移测试、波德图（Bode Plot）测试等。频率响应测试应采用图8的连接方式，测试信号由声卡的输出通道A输出，输出后分为两路：一路送入被测系统的输入端，经过被测系统后，由被测系统的输出端送回声卡的输入通道A，另一路则直接通过导线送入声卡的输入通道B。测试信号通常采用白噪声或正弦扫频信号。频率响应测试要求所用的声卡的两个输入通道的频率响应必须完全相同，这对于声卡来说并不是大问题，可采用同样的频率响应测试方法进行自测，只需要将图8中的被测试系统用一条导线取代即可。当两个输入通道的频率响应完全相同时，所测得的增益～频率曲线应为一条位于0dB的水平线，而

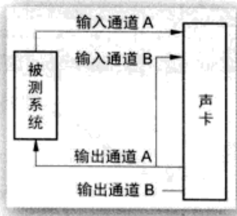


图8 频率响应测试连线图

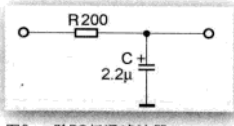


图9 一阶RC低通滤波器

所测得的相移～频率曲线应为一条位于0° 的水平线。

以Multi－Instrument为例，测试频率响应的具体步骤为：（1）启动软件后，按前述方法选择声卡。（2）将示波器的扫描时间设为1s，示波器和信号发生器采样频率设为48kHz、采样位数设为16比特或24比特（若声卡支持的话）。FFT点数设为16384，窗函数设为矩形窗，窗重叠率设为0%。在屏幕下端的频谱分析仪的工具条上选择“传递函数”模式。（3）若希望得到更光滑的曲线，可右击频谱分析仪的窗口，然后选择[频谱分析仪处理]，在随后弹出的窗口中选择[帧间处理]>[线性平均]。（4）在信号发生器面板上选择白噪声。（5）最后分别按动信号发生器和示波器的启动按钮，约一秒后，频谱分析仪将显示所测得的增益～频率曲线和相移～频率曲线，左边纵轴为以dB为单位的增益，右边纵轴为以° 为单位的相移。

图9为一个一阶RC低通滤波器，电阻为200Ω，电容为2.2μF，可计算出其理论截止频率为$1/(2\pi RC)$=362Hz。图10为用以上方法实测的该低通滤波器的频率响应，从图中可见，在截止频率以下的低频端，增益是一条略微小于0dB的水平直线。增益略微小于0dB是因为

测试展台

吉时利推出灵活、高性能的50MHz任意波形/函数发生器

美国吉时利(Keithley)仪器公司日前推出了3390型50MHz任意波形/函数发生器。该发生器在市场同类产品中具有出色的波形分辨率和性价比，是一款功能灵活、简洁易用的可编程信号发生器，能够提供高品质的输出信号。

业界领先的采样速度和存储深度

吉时利的3390型50MHz任意波形/函数发生器在同类波形发生器中具有最快的重复频率——至少比同类产品快2倍。除了具有较高的正弦波频率之外，速度提升后的3390还具有多种应用优势，例如具有更高的方波、三角波、斜波和任意波形重复频率，具有更快的脉冲和点到点任意波形跳变上升时间，具有更高的调制频率，具有更逼真的噪声仿真能力。相比其他同类产品，3390的存储容量提高了4倍，达到了256000点，而类似的波形发生器存储容量只有8000点或者64000点。更多的点数将会得到更平滑的波形，或者在同样分辨率下波形长度可以提高4倍。

集多种功能于一体的灵活性

3390在一套设备中实现了6种不同的主要功能，包括函数生成、脉冲生成、波形生成、码型生成、噪声生成和调制，大大节省了宝贵的机架空间，用户无需再购买单独的仪器。3390提供了10MHz的标准外部基准时钟，使用户能够轻松实现多台3390或者其他设备的同步，大大简化了设备到设备的同步。

无与伦比的易用性

3390提供了多种内置的标准波形，也允许用户创建并保存他们自定义的波形。3390还为用户提供了吉时利的KiWAVE软件，它是一个波形创建工具，能够创建自定义的任意波形并管理波形存储器。用户通过KiWAVE能够查看真实设备中的波形，并编辑波形。

3390具有很多实用的功能，包括：最高50MHz的正弦波频率；支持25MHz脉冲频率，最小10ns的脉宽；具有256k点、14位分辨率的任意波形发生器；内建函数发生器，支持正弦波、方波、三角波、噪声、直流等波形；支持具有快速上升/下降时间的精确脉冲与方波；内建10MHz外部时基，支持多单元同步；内建AM、FM、PM、FSK、PWM等调试方式；支持频率扫描与猝发功能。

（资料室）

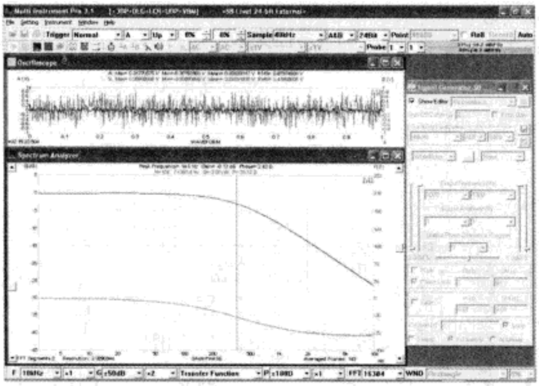


图10 一阶RC低通滤波器频率响应测量

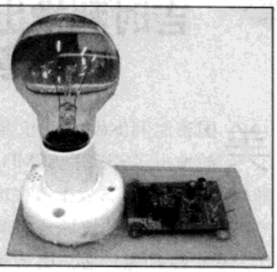
200Ω的电阻与声卡的输入阻抗（该声卡的输入阻抗为16kΩ）构成的分压电路对信号造成了一点衰减。在截止频率以上的高频端，增益每倍频程下降约6dB。从图中实测截止频率为360Hz。该低通滤波器的相移从最低频端的0°逐渐变为最高频端的-90°。了解一个系统在不同频率处的增益和相移是很重要的，例如对于一个负反馈放大器，当放大器的相移达到180°时，其增益必须小于1，否则放大器将是不稳定的。

四 总结

利用电脑及声卡，配上适当的多功能虚拟仪器软件，即可将电脑变为一台在音频甚至略超音频的范围内工作的多功能测试仪器。它可集多个独立昂贵仪器的功能于一身，且成本低廉。测试的精度跟声卡硬件和虚拟仪器软件的质量有关，可根据具体的测试目的和对测试精度的要求来选择虚拟仪器软件和声卡硬件。当然基于声卡的测试系统也有其局限性，主要是通常不能测量和输出直流信号，而且用于绝对幅度的测量时要先标定。其实大多数情况下的波形观察、频谱分析、音频参数测量（THD、THD+N、SNR、IMD等）都是相对测量，并不要求对声卡先进行幅度标定。即便是真的需要标定，也只需以一台普通万用表来测量声卡ADC和DAC的满程电压即可。

——示波器在电子制作中的应用——

声光控开关的制作与检测



◎杜玲安 葛中海

这是笔者给中山市高级技工学校电子技术专业二年级学生设计的实训课题之一。虽然同学们使用的元器件基本一致，但是在实际焊接完成后却出现了各种各样的问题。这里先简述一下工作原理，再根据故障现象借助示波器查找、分析、解决这些问题，让大家跟随着我们的思路和工作过程，领略一下工程上的解决方式。

一 原理分析

本制作名称叫声光控开关，顾名思义就是声控和光控的开关，整个电路如图1所示，控制核心是单向晶闸管VS导通/断开——四与非门4011的3脚为高电平（逻辑“1”）VS正向导通，3脚为低电平（逻辑“0”）VS截止。

那么，3脚何时为高电平呢？答：只要1脚、2脚中有一个为低电平即可！4011的2脚和4脚直通，而4脚是4011的B单元的输出，正常情况下电解电容C4开路，5、6脚通过R8接地，因此4脚输出高电平（逻辑“1”）。关键是1脚什么时候为高电平/低电平？那么灯泡H的亮、灭状态就一目了然了。实际上，1脚的电压既受光敏电路控制（光控），又受音频放大电路控制（声控）。

1. 有光照射

当有光照射到光敏电阻Rg时，12、13脚为低电平，11脚为高电平，于是VD1正向导通，1脚电位被箝位于高电平，相应地3脚为低电平——单向晶闸管因没有控制信号而不能导通，此时无论10脚的状态如何都不会影响1脚电压，也就是说：当有光照射到光敏电阻时，4011的D单元锁定11脚为高电平的优先级别最高！

2. 无光照射

当无光照射到光敏电阻Rg时，12、13脚为高电平，11脚为低电平，此时1脚电压将不受11脚的影响，1脚的状态由音频放大电路的输出10脚决定。

参看4011的C单元及外围电路，驻极体话筒接收到声波后转化为电压波动，经C2耦合到4011的C单元输入端，输入、输出电压反相，R2作为反馈电阻。传统理论都认为数字电路只有两种逻辑状态：高电平和低电平，实际上非门、与非门电路也可以作为电压放大器——数字电路模拟用。

二 动态观察

前面对原理作了分析，下面借助示波器观察正常的电路板是如何工作的？

突然拍手的声音振动，经C单元放大后输出振幅很大的电压信号，从而拉低1脚电位（实际上是第一个幅度较大的波谷拉低1脚电位），于是3脚由逻辑“0”变为逻辑“1”触发VS导通，如图2所示。

当3脚由逻辑“0”跳变为逻辑“1”时，由于电容两端电压不能突变，5、6脚电压也瞬间跳变为逻辑“1”，4脚电压跳变为逻辑“0”。此后即使话筒没有输出信号，该逻辑“0”继续锁定A单元输出逻辑“1”。之后随着电容C4充电5、6脚电压逐渐下降，一旦低到阀门电压4脚又跳变为逻辑“1”锁定解除，如图3所示。

三 故障分析

1. 声控失效

有几位同学的电路板声控失效，具体表现为“无论有多么大声音，灯都不能点亮”。吹口哨测量波形如图4

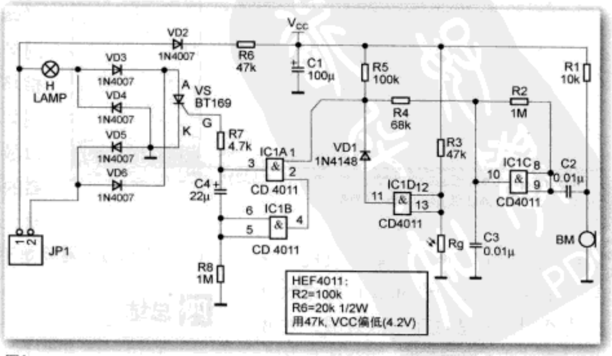


图1

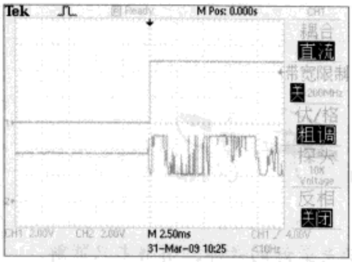


图2 1是4011的3脚波形，2是4011的1脚波形

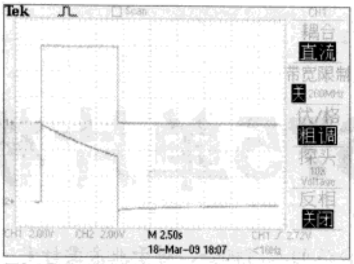


图3 1是4011的3脚波形，2是4011的5、6脚波形

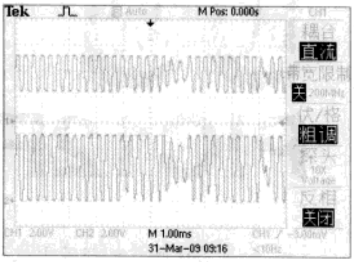


图4 1是4011的1脚波形，2是4011的10脚波形

所示，从波形图显示电压信号已足够大，上下都达到削顶程度，即使这样也不能引起4011的A单元翻转输出高电平，这说明1脚波谷位置的电压也高于“与非门”的翻转阈值，因此才造成如此尴尬的情形。

检查发现电阻R4误焊成82kΩ，改为68kΩ故障排除。进一步研究发现若R4改为56kΩ声控相当灵敏，继续减小R4为33kΩ，造成1脚电压过低灯常亮。

2. 光控失效

有光照射到光敏电阻Rg时，有声响时灯就亮。

根据前面的分析有光照射到光敏电阻时，4011的D单元锁定11脚为高电平，此时无论10脚的状态如何都不会影响1脚电压，因此灯是不会亮的。那么部分同学做的电路板为什么会出现这种故障呢？用万用表测试11脚电压一直跳变。为了真实搞清楚其电压，借助示波器观察11脚是周期不定的脉冲，如图5所示之波形2。

可以想象：当11脚为低脉冲时，一旦有声响1脚电压就会拉低，促使4011的A单元翻转，灯就会点亮。

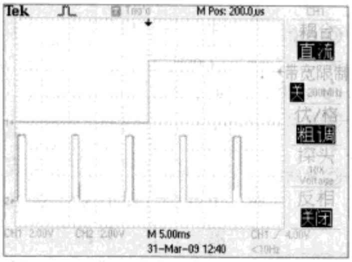


图5 1是4011的3脚波形，2是4011的11脚波形

为什么11脚输出周期不定的脉冲呢？继续查找原因发现光敏电阻Rg的“亮电阻”约为36kΩ，而R3为47kΩ，它与光敏电阻的“亮电阻”分压逻辑上“非高非低”，所以4011的D单元处于不稳定状态，输出没有规律的非周期脉冲信号。然而，原始设计电路选用与之配合的光敏电阻“亮电阻”约为10kΩ，但是实际制作时有部分光敏电阻“亮电阻”约30～40kΩ，因此对这样的电路板要么更改R3为100kΩ，要么更改“亮电阻”约为10kΩ光敏电阻。

更为精细的实验测试发现，当手离开光敏电阻20～30cm遮挡照射光敏电阻的灯光时，11脚脉冲的宽度也随之改变，遮挡愈多脉冲愈窄；若用强光照射光敏电阻，11脚变成稳定的高电平。

3. 灯常亮

有光照射到光敏电阻的情况下，无论有没声音响灯都会常亮。

根据前面的分析有光照射到光敏电阻时，4011的D单元锁定11脚为高电平，因此灯是不会亮的。现在更邪门到无论有没有声响灯都会常亮，比前面介绍的“光控失效”的问题更为严重。

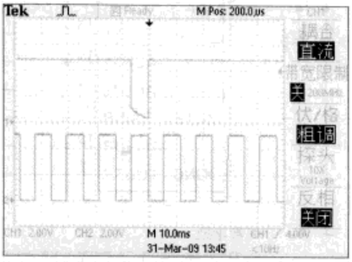


图6 1是4011的3脚波形，2是4011的10脚波形

仔细观察这种故障，发现灯亮了一段时间后会瞬间熄灭一下然后又亮起来——在无声的情况下，这种现象会周期出现。测量3脚和10脚波形如图6所示。

根据故障现象和图6推演如下：由于在无声的情况下，10脚输出方波信号，说明音频放大的幅度非常巨大，这个信号会很容易引起4011的A单元触发翻转控制VS导通，并使B单元翻转使A单元自锁，一段时间后自锁解除，A单元在1脚为高脉冲时输出低电平，灯泡瞬间熄灭，紧接着又在随后的1脚低电平触发翻转，控制VS再次导通……

为什么同样的参数，有的电路板不会出现这种故障而有的却会呢？原来出现这种故障现象的电路板上装的集成电路是HEF4011而不是原始设计电路选用的CD4011。

如果一定要使用HEF4011，需要按图1方框中参数更改，R2改为68～100kΩ以便降低话筒电压放大倍数，R6改为20kΩ是为了提高VCC，否则VCC才4.2V，整个电路的工作可靠性将不能保证。然而当把R6装上1/4W、20kΩ电阻后，很快发现R6冒烟了——聪明的你一定能明白造成这种故障的原因了吧？（提示：VD2对电网半波整流）。把R6换成1/2W 就能保证它的工作安全，这从侧面也说明HEF4011比CD4011耗电！

试玩PIC12F675单片机手记

◎吴红奎

一直想玩单片机却苦于找不到合适的入门机会，对于业余爱好者，兴趣是最好的老师，啃书本只能解解馋，要真刀真枪的动手实践还是需要合适的题材。音响中的电子音量控制玩了不少，TC9153、TDA1524、TA7630、LM1036、LM4610、M51132……，更高级的，用于专业音响的，国内为人熟悉的不外乎CS3310、PGA2311以及高电压版本的PGA2310，非常巧的是，这三者的引脚也是兼容的，只是它们需要单片机来进行控制，专业音响大都是系统控制而非仅仅进行音量控制，控制电路都比较复杂，对于一个单片机门外汉来说，难度太大。因此虽然对它们心仪已久，却一直没有动手捉刀的机会。

有一天，在欣赏IR（International Rectifier，国际整流器）公司的双声道D类功率放大器（iraudamp5）时，无意间发现评估板上竟然有CS3310。仔细研究发现，音量控制是一个单联电位器，通过一个双列直插的8脚IC对CS3310进行控制，型号是3310S06S，如图1所示。

急忙查找3310S06S的资料，发现这个IC是日本的一个公司开发的，公司的英文名称是Tachyonix，不但生产控制CS3310及其引脚兼容的控制IC，还有控制欧胜公司的WM8816的IC，型号是8816S06，基本思路都是利用集成ADC（Analog Digital Converter，模拟/数字转换器）的单片机把数字控制方式变为模拟电压控制，即电子音量控制。用简单的方法单独对这些高素质的音量控制IC进行控制，虽然功能简单，但是对发烧友来说，却是非常适合的，这个方法也正是笔者所梦寐以求的。然而遗憾的是，这个公司的产品目前还只能从日本购买。图2是3310S06S的一般应用电路原理图，图3是5.1声道音量控制的电路板实物。CS3310都可以直接并联用于两声道以上的控制，因此一片控制IC可以同时对多个数字音量IC进行控制，要分别进行独立控制，则需要多片控制IC。

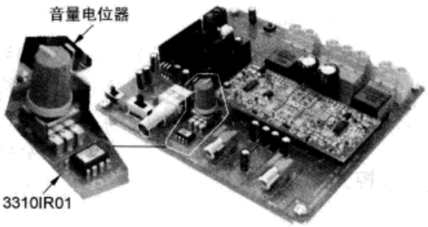


图1 iraudamp5 评估板及其音量控制

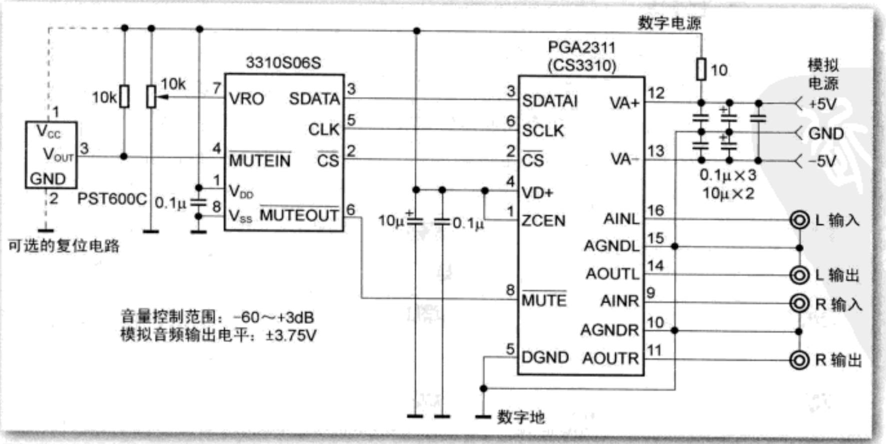


图2 3310S06S的一般应用电路原理图

就在笔者倍感失望时，无意间看到了几位日本发烧友采用单片机控制上述数字音量IC的实验报告，并且有相应的软件代码和源文件，单片机是Microchip（微芯科技）公司的，型号包括PIC12F675、PIC12F683等。这些单片机的共同特点是集成了ADC（模拟/数字转换器），设计思路和上文提到的Tachyonix公司可

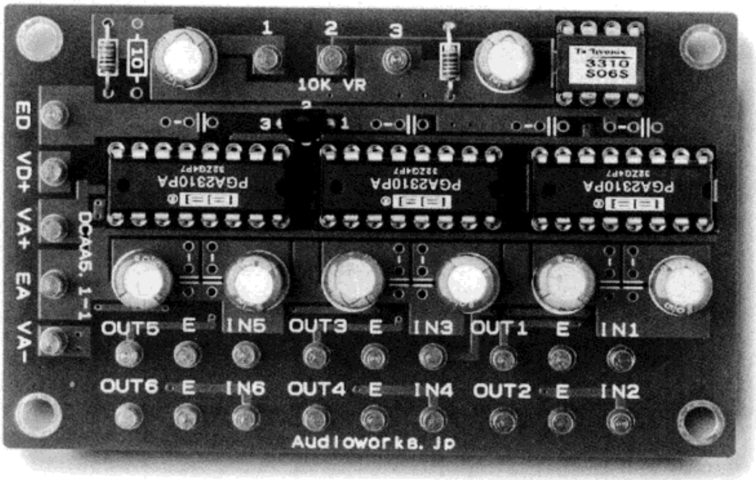


图3 3310S06S的5.1声道音量控制板实物

谓是异曲同工，控制电路也一样的简单，因为可以用通用单片机，制作成本和难度都大大下降，刚好笔者手头有PIC12F675，马上重点研究了几位日本发烧友用此单片机进行的相关实验，最后选择了一位发烧友的制作，照猫画虎，一做即成，不敢独占，写出来与大家共享。

使用PIC12F675控制PGA2311的实用电路

图4是笔者选定的一位日本发烧友的实验电路并成功仿制的实用控制电路，单片机选用的是Microchip公司的PIC12F675，采用CMOS工艺生产的8位6端口RISC（精简指令集）单片机，集成了10位4通道的ADC和1K字节的Flash ROM。

图4电路同样适用于PGA2311和CS3310，只需要将模拟电源电压变为±5V即可。PIC12F675有6个I/O，GP0～GP5，GP0～GP2用于PGA2310的串行通信，GP0是片选（$\overline{CS}$），GP1是数据（SDI），GP2是SCLK（时钟），GP3是电源检测，高电平有效，即只有GP3被置于高电平时，PIC12F675才会开始工作，GP4是电子音量控制端，输入0～5V电平经过内部A/D转换，进行数字音量控制，GP5是静音控制输出。与图1电路相比，图3电路增加了电源检测功能，如果电源不正常，这一部分电路不会正常工作。电源检测信号可以来自系统的前级，也可以来自系统的后级，系统应用电路图如图5所示。

图5中，功放输出端与扬声器之间的继电器控制信号由PIC12F675提供，即图4中的静音控制（GP5），配合电源检测端子的控制功能，扬声器保护电路可用本电路替代。

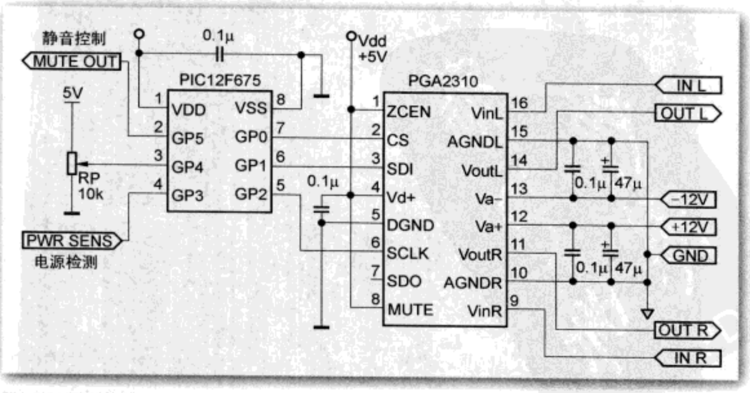


图4 PIC12F675控制PGA2310的实用电路

控制源程序

实现图4控制功能的源代码是笔者从日本发烧友的博客上下载的，源程序的注释是日文的，源程序的作者没有对PGA2311使用默认的控制范围：-95.5～+31.0dB，而是使用了正增益比较低的范围：-95.5～+3.0dB，这样也许更符合我们的使用习惯，对于传统的电位器，是不会有正增益的，只是衰减，有正增益的好处是可以省略前置放大器，缺点是很容易带来噪声，尤其是静态噪声。笔者试着将日文注释翻译成了中文，读者可到《无线电》杂志网站（*www.radio.com.cn*）上下载源程序和编译好的HEX文件。

笔者使用的烧录工具是Microchip公司提供的PICkit1，型号是BN-DV164101，软件是PICKit1 Classic，软件版本是1.70.0，固件版本是1.0.0，软件的操作主界面如图6所示，烧录工具实物如图7所示，图中IC插座上的8脚IC就是PIC12F675。

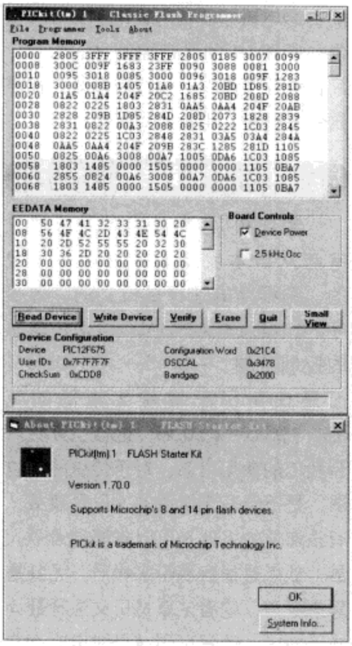


图6 烧录软件PICKit1 Classic的操作界面

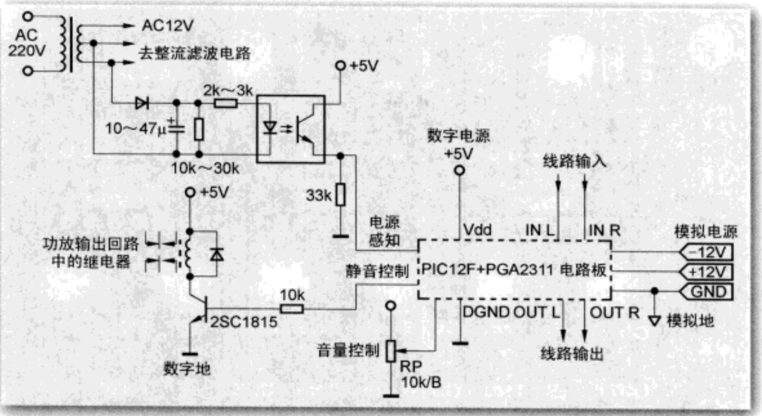


图5 PIC12F675+PGA2311的系统应用简图

烧录软件可以从Microchip公司的网站或者该公司在国内代理公司的网站下载。烧录工具则可以从Microchip公司的国内代理购买或者用你手中任意一款支持烧录PIC12F675的编程器。还有一个简单的方法是到当地的电脑市场，有写片服务的商家一般都是可以写PIC12F675的，因为它是比较通用的单片机。

实战PIC12F675

控制片子写好了，实际的硬件电路其实是非常简单的，这可能让我们这些惯于用硬件来实现电路功能的爱好者有些不太习惯，专业水准的电子音量控制电路，这么简单么？的确是，实物如图8所示，除了4个CBB电容是输入/输出耦合的，其他的是电源退耦电容。笔者是用实验板搭的电路，开始的想法只是想体验一下PGA2311的魅力，没有用什么补品元件。然而搭好电路一听，几乎马上改变了注意，要把它作为一个真正的音量控制器来用了。如果把这个简陋的电路板装入一个考究的机箱中，绝不会有人能猜出这样的声音表现竟然是从一块如此简陋的电路板上获得的。

实验时没有使用电源检测和静音控制，因此按照图4电路装配时，静音和电源检测都直接与数字电源连接。数字电路与模拟音频控制电路同处于一块电路板上，模拟电路是比较容易受到干扰的，模拟地和数字地必须严格分开，图8电路的元器件的布局是按照TI公司推荐的参考电路（如图9所示）去做的，以PGA2311轴向中心线为界，即使是实验板，也要布设两根地线，以PGA2311的宽度，刚好覆盖了两行孔，靠近数字电路一侧（图8中的下部）一行做为数字地，

图7 工作中的烧录工具PICkit1

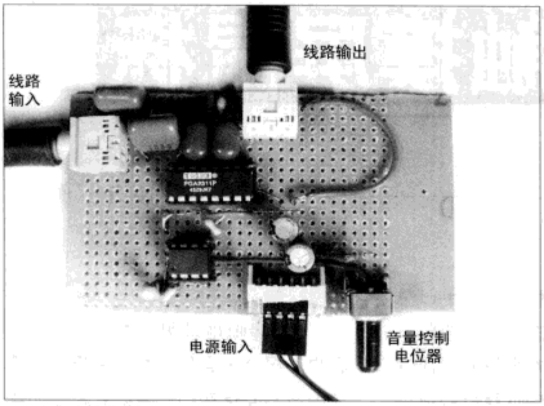


图8 用实验板搭建的PIC12F675控制PGA2311的电路实物

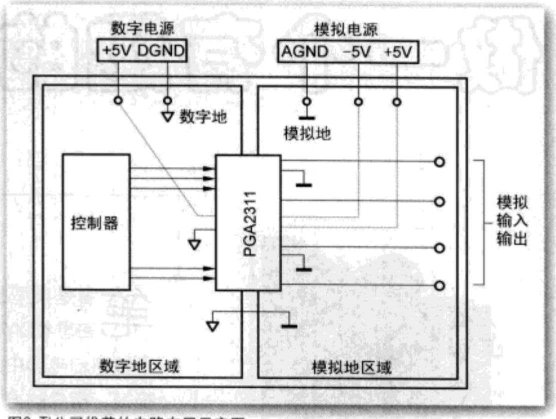


图9 TI公司推荐的电路布局示意图

另一行作为模拟地。

实验中遇到了源程序作者遇到的问题，在没有音频信号输入时，电位器转动到某一特定位置，会有类似轻度自激一样的噪声产生，在笔者的实验板上，产生噪声的位置大概是电位器转到三分之一到二分之一行程时，也就是9点钟到12点钟的位置之间。源程序的作者使用了比较正式的印制板，由此推断可能和布线的关系不大，而是软件所致，好在对使用影响很小。

笔者还遇到了另一个问题，本底静态噪声不太理想，经过寻找，发现是从输入端感应的噪声，包括输入端的电容和PGA2311的输入端附近，输入输出不连接线，音量调到最大，手距离输入电容3～5cm远，即能感受到静态噪声的增加，这或许是实验板布线的局限性造成的，笔者只好用大块的铜皮把它们屏蔽起来，如图10所示，才算是解决了问题。因为想长期用它，最后加入了有7805和7905组成的稳压电源给PGA2311的模拟电路供电，数字电路单独供电，实际试听，与先前相比，声音又清晰了不少，等有了机会，笔者下决心要做一个正式的电路板出来，像日本的发烧友那样，把PGA2311的潜力更多地挖出来。

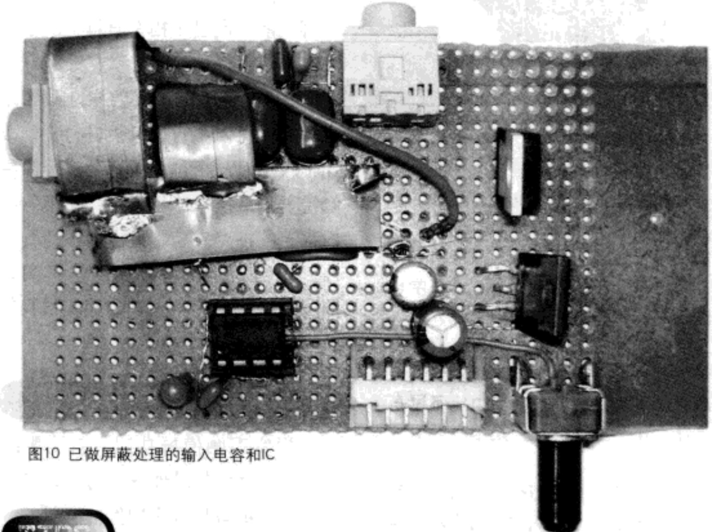
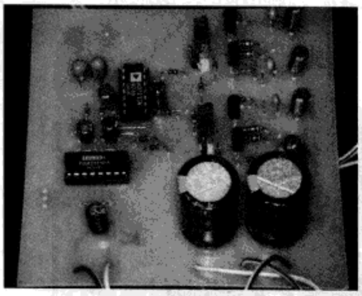


图10 已做屏蔽处理的输入电容和IC

TIPS

本刊2007年第11期曾刊登《用单片机和PGA2310实现高精度音量控制》，详细介绍了附图所示的音量控制电路的原理、制作和调试，感兴趣的读者可找来看一下。



做一个有趣的触摸屏鼠标

◎张科　谢丽华

◇作者简介

我叫张科，当初父母给我起这个名字就是希望我当上科学家，然而生活命运难料，咱成了一名电子工程师，也算沾了点边，没让父母失望。本人爱好摄影，可惜钱包内存不够，只能买卡片机；爱打CS，专业欺负菜鸟；曾在学校干过三年的机器人比赛，难舍难分；现在主要搞自动控制方面的工作，喜好搞电子软硬件设计制作，尤其是专研具有创新思维类的东东。咱的实力比不过高手，能力比不上大虾，但是咱有无限的激情……

这篇拙作，仅仅想抛砖引玉，激起大家DIY的热情，引起讨论。有兴趣欢迎与我联系：superboy1cn@126.com

笔者是典型的“懒人”，平日总在想着DIY偷懒的方法。前些日子被科幻电影中人们在大屏幕前通过拖拽、指点的方式操作计算机的镜头深深吸引，从而琢磨着自己也DIY一个类似的系统：给笔记本电脑添加触摸屏功能，通过手指在屏幕上的指点动作操作鼠标。

图1是实验的最终效果。我们这个小制作可以不对计算机进行任何改动，仅通过一个“小手柄”实现简易触摸屏的功能，即用这个“手柄”在屏幕上的指点来控制鼠标的移动。

是不是觉得不可思议？其实它的原理很简单，有兴趣的朋友跟我们一起动起手来DIY吧！

原理阐述及准备知识

要实现触摸屏功能，首先需要计算机对我们的动作进行感知识别。传统的触摸屏是基于硬件传感器的，即通过电阻分压计算AD值的方式获取坐标。本制作采用图像识别方式，当然也有传感器，这就是大家常用的网络摄像头。

图2清晰地说明了本制作的核心思想：屏幕平面与摄像头采集到的虚拟图像平面存在一一映射关系。如能在摄像头采集到的图像中检测出手的位置，就可以将手指的图像坐标映射至屏幕上的实际坐标，达到我们的“触摸”效果。

当然，计算机是很“笨”的，想让它直接识别我们的手指，可能是一个复杂的问题：它得先分析图像，二值化，再提取“手指模型”特征，再……。是不是又有读者准备翻页了？请再次打住！毕竟我们不是专业搞计算机图像识别的，让我们换一个思考方式吧，简化一下，为何不在手指上附加一种特殊标志，只让计算机识别这个特殊标志呢？

最直接的想法是识别颜色，因为这比其他任何基于形状识别的方法都要简单。比如，在手里握一支颜色“足够红”的笔，让计算机在采集的图像中按像素逐个寻找R分量值最高的点即可。

图3为计算机识别钟表起子尾部红色物体的屏幕截图，黄线十字处为识别到的区域，即使快速晃动起子，计算机也能马上感应出来。

这个实验是在较理想的环境下进行的，如果背景较复杂，存在太多五颜六色的物体时，这种仅基于颜色的识别方法便无法使用。因为仅根据颜色信息，计算机无法准确识别背景

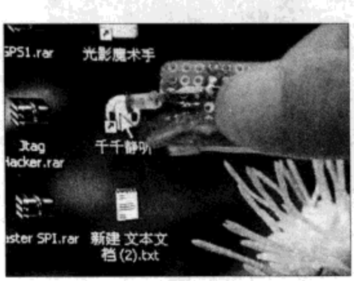


图1 实验最终效果

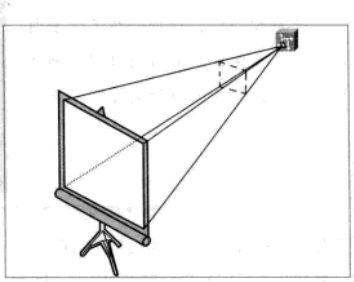


图2 图像映射关系

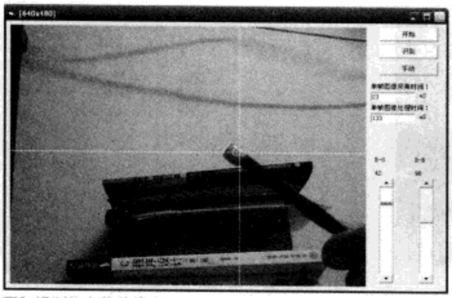


图3 识别红色物体演示

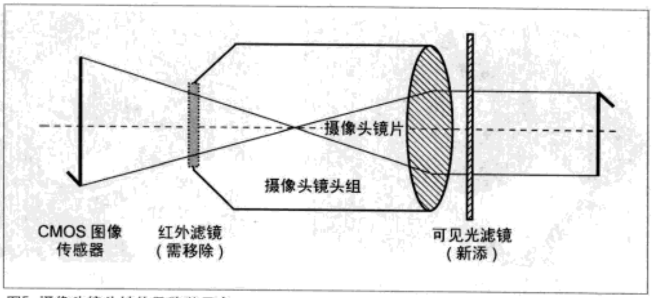


图5 摄像头镜头结构及改装示意

还是手中的物体。

笔者突发奇想，如果有一种“红外摄像头”，它仅能获取红外光谱的图像，用其来识别握在手里的红外LED不就可以了吗？这样，背景将是一片漆黑，视野中只有一个亮点，非常适合计算机处理。下面就通过一步步的硬件改造来说明这个“创意”。

硬件制作及改装

首先准备好工具和要用到的元器件，见图4。锉刀、剪刀等工具是必不可少的，另外还需准备一个网络摄像头、一张软磁盘、一块手机锂电池或其他电池、一个红外发光二极管、一个120Ω限流电阻。

不论手机摄像头还是常用的USB接口网络摄像头，其内部核心基本都是CMOS图像传感器，这类传感器的一大特点是不仅可响应可见光，还对波长为800nm左右的不可见红外光敏感。大家可以做一个小实验，用家里的电视遥控器对着摄像头按键，你会发现图像中出现一个微微闪亮的光斑。对！这就是红外光了。

着急的读者这时一定想问：这么微弱的光有什么用呢？问题提得很好！这么弱的光会被淹没在强烈的其他光照背景下，的确很难直接提取光斑特征。为了简化图像识别算法，我们需要对摄像头做一些小小的改造。

1. 将普通摄像头改装成红外摄像头

大家已经知道，CMOS传感器对红外光有一定的敏感度，但是正常的使用中需要看的仅仅是可见光谱部分。为了提高画质，大部分的摄像头商家都会在镜头中添加一个红外滤镜，尽量将那些没用的光谱段滤去，参见图5的示意图。

然而，我们的制作却恰恰需要采集红外信号，因此需要反其道而行之：保留红外光，滤除可见光。小心拧下你手中摄像头的镜头，如果在镜头组的最后面看见一个方形或圆形的“彩色”玻璃片，那么恭喜你，这意味着你的摄像头可以方便地改装；这张玻璃片就是所谓的红外滤镜了，大多数情况下，它被一滴胶水粘在镜头组上，我们接下来要做的就是将它去除。准备一根最细的缝衣针，沿边缝小心将其挑起后取出，见图6。需要注意，滤镜片很薄很脆，用力千万小心，如果破碎，虽然不会影响本实验，但是你的摄像头就无法复原了。

取出滤镜后再将镜头装回摄像头，调好焦距后插入电脑看看效果。是不是发现画面显示并无异样，只是图像有些微微发红呢？此时，我们的摄像头已经可以允许接受可见光和红外光谱范围内的图像了，再按下遥控器试试，你会惊奇的发现，原先那微弱的亮点变成了一个大光斑。

仅仅能观看到红外光还不够，因为光斑依然不能与背景构成较大的

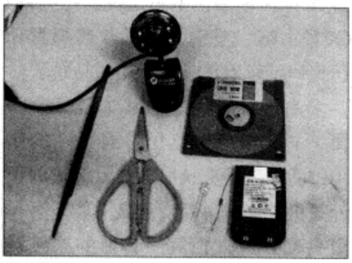


图4 需要用到的工具和元件

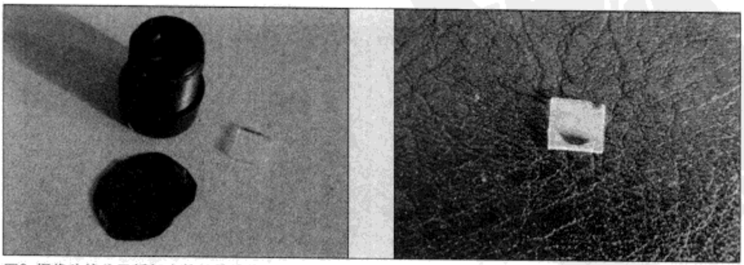


图6 摄像头镜头及拆卸出的红外滤镜

图7 可以用废弃的软盘基片制作可见光滤镜

图8 改装好的“红外摄像头”

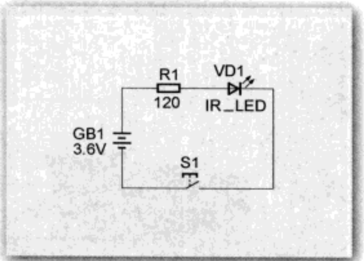


图10 红外目标指示器电路原理

对比反差，第二步要做的是滤除可见光。“可见光滤镜”是一种看起来黑黑的镜片，可滤除光线中的可见光成分，在红外摄影爱好者中广泛使用，淘宝网上也多有出售，可惜价格不菲。

这里笔者介绍一种在室内环境中使用的廉价土办法：用完全曝光的照相底片或软磁盘代替昂贵的可见光滤镜。根据经验，软盘片表面光洁度和均匀程度较底片好，是DIY制作的首选。选一张废弃的干净软盘，小心拆开，取出盘片，剪出几张大小合适的圆片，见图7。用双面胶将其粘在镜头前即可，见图8。

用电视遥控器可以检验我们摄像头改造的效果。对着摄像头按遥控器，应该在画面中看到深色的背景上一个闪亮的光点。如果背景依然较亮，可以再重叠一张，但重叠的盘片最好不要超过三张，因为如重叠过多，在滤除可见光的同时也会减少红外光的通光量。

2. 红外目标指示器的制作

有了红外摄像头，就可以方便地采集红外图像信号。但是我们不能一直拿着闪闪发光的的遥控器充数吧？这里需要我们自己制作一个红外目标指示器，用以向计算机指引我们手指的位置，如图9所示。

红外目标指示器的电路非常简单，原理图见图10，电池可任意选择，只是限流电阻应根据实际情况进行调整。

尽管电路简单，但笔者还是要对红外LED的改造啰唆一下。为了使红外摄像头能从各个角度看见红外LED的光，首先需要用锉刀将LED周围打磨一圈，以实现红外光线的漫反射；再在LED顶端粘贴一个用锡箔纸剪成的反光片，以方便摄像头能从背后捕捉到足够亮度的红外光。制作完成后将指示器在红外摄像头前晃动，如能在全黑背景下看见一个清晰的光点则表示成功。至此，所有的硬件改造完成。

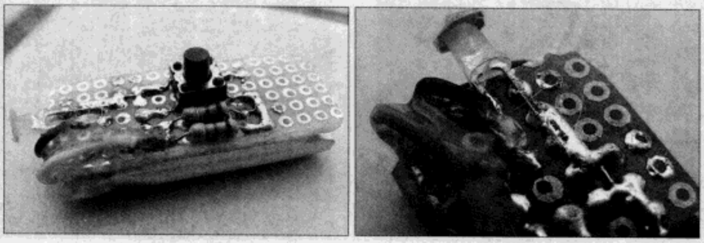


图9 制作好的红外目标指示器及LED改进细节

软件设计

写到这一章时笔者有些为难，软件向来是最让人头疼的部分，但又不能不说，笔者不知道如何向读者阐述清楚自己的想法，应当像上面的硬件改装部分那样手把手地和盘托出？还是大概介绍原理？想来想去，还是决定照顾大多数人的口味，毕竟代码那些东西太让人觉得枯燥了，对编程有兴趣的朋友可到《无线电》杂志网站（www.radio.com.cn）下载代码慢慢研读和改进吧，这里，笔者将避开复杂的代码，仅介绍流程、原理和注意事项。

由于摄像头得到的画面非常简洁，一幅几乎没有背景，只有标志物的画面能很方便地被计算机处理。为了尽量降低开发难度和周期，本制作的软件部分使用VB6.0开发。

首先做的是获取USB摄像头的图像信息。网上支持USB摄像头的第三方VB控件很多，笔者选择的是Video OCX 1.62。安装注册后仅需编写几行代码就可以正常显示视频画面了。

由于获取的图像基本是黑白画面，彩色信息在这里没有太多的作用，将其处理成灰度画面反而更利于计算机处理，另外，灰度图像只有一个亮度通道，相对于其他的颜色识别，灰度图像识别还减少了处理时

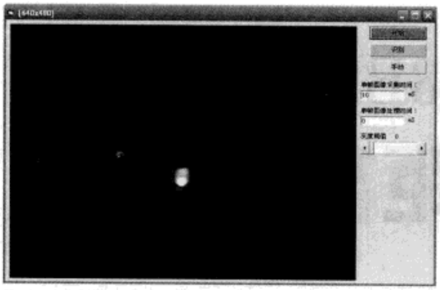


图11 采集到的灰度化红外LED图像

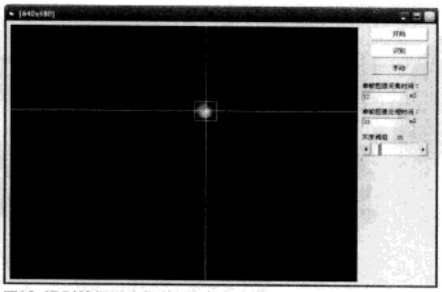


图12 识别并标记出红外LED光斑边界

间，见图11。有了灰度信息，就方便进行图像二值化处理：这里需要手动设置一个合适的阈值，然后遍历每一个像素，根据阈值计算出红外斑点的X、Y轴边界坐标。如有需要，用线条控件将斑点标记出来，见图12。

确定出斑点的边界，即可算出斑点中心的坐标，但是这依然不是需要的最后结果，我们需要将这个图片坐标映射至计算机屏幕坐标，见图13。坐标校正算法是必不可少的，关于这个算法，读者朋友可以参考手机触摸屏的三点或四点校正文章介绍，笔者在这里就不多费笔墨了。

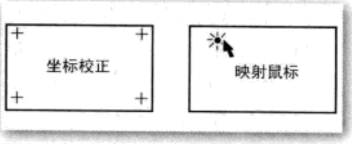


图13 四点坐标校正法及映射鼠标坐标示意

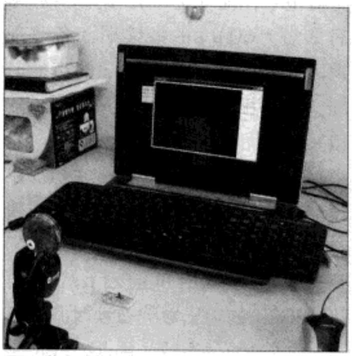


图14 整套系统示意图

调试

通过前面一系列的准备，我们已经万事具备，只欠东风。通过下面的最后三步安装调试，就可以享受自制的“高科技”啦。

1.将摄像头对准计算机屏幕。由于目前Beta版程序中坐标矫正算法不是十分完善，在较大偏角和倾斜状态下的误差较大，所以要求调整位置时尽量使摄像头处于屏幕的正前方，画面不能过多的倾斜，使屏幕充满整个画面为好。这里，笔者建议使用便宜的数码相机支架来固定摄像头，以方便调节水平和各个角度和高度，参见图14说明。

2.设置图像识别参数。启动VB程序，在镜头前挥动我们制作的红外目标指示器，根据实际环境调整灰度阈值大小，使之能良好识别手中的红外光斑。需要注意，灰度阈值应当比临界值稍小一点，这样有助于软件识别慢速移动的物体。

3.矫正坐标。进入软件坐标矫正界面，将红外目标指示器指点在屏幕上的十字矫正点上，点击“下一步”，这样的动作需连续进行三次。

此时，调试工作全部完成，你可以在屏幕上任意指点，鼠标光标应能立即显示在你指点的位置。

需要注意，摄像头应在整个操作期间保持固定，否则无法得到正确的矫正坐标。操作期间如计算机屏幕或摄像头移位，则需重新进行校正步骤。另外，附带示例程序中的矫正参数是针对1280×800的宽屏笔记本电脑屏幕，如果你的显示器分辨率与此不同，修改源程序中的相关参数即可。

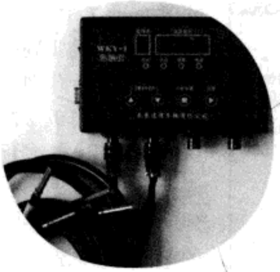
如果已经动手实践了的朋友会发现，虽然系统可以正常运行，但是在计算机边缘的鼠标和触摸位置有一些偏差，而且这个偏差还与摄像头的摆放位置有关。限于笔者的水平，暂且做到这一步，待日后改进坐标矫正算法。

另外，细心的朋友也会发现，似乎鼠标的响应速度有些“慢”。这是由于普通摄像头的电子快门速度较低，高速运动的物体显示出来的画面就是一条模糊的线，计算机无法正常识别。既然是DIY，大家将就一下吧，等以后有钱买得起专业的相机再讨论响应速度的问题吧。

结束语及后记

本文介绍的作品仅仅是半成品，更多有待扩展研究。通过合理的改进，不仅可作为桌面型计算机的辅助输入设备，甚至可用于大屏幕投影仪教学中的演示。当然，本文的软硬件甚至原理上都可能有不妥之处，还请大家多多指出。

啰嗦了这么半天，不知道笔者有没有将自己的思路讲清楚，毕竟众口难调，文章中忽略了不少令人头疼的计算推导和代码说明。如果读者看完后觉得不知所云，请多给自己一些信心！



精确把握DS18B20读写时序 延长连接距离

◎莫秋元

单线智能温度传感器DS18B20无需外部电路和其他变换电路就可以直接输出被测温度，测温范围宽、精度高、转换时间快并可适配各种单片机或系统机等众多优点，在各种领域已得到了广泛的应用。我公司采用DS18B20温度传感器制作四路温度巡检控制的温控仪。在对温控仪进行各种环境适应验证试验中发现一个问题：DS18B20传感器采用10m长连接线时工作不正常，而采用3m长连接线时工作正常。DS18B20传感器的连接线缆长度一般可达到50～100m，当采用双绞线芯的屏蔽电缆时，其最大长度可达150m。图1为温控仪传感器连接部分电路图，传感器采用单独供电，接在P1口上。后经对DS18B20传感器的读写子程序分析及对传感器读写时序波形分析得出的结论，是因为读写子程序对DS18B20传感器的读写的时序把握不够准确造成的。下面就DS18B20传感器的读写的时序把握度进行分析，希望能对初步接触该传感器的人员有所帮助。

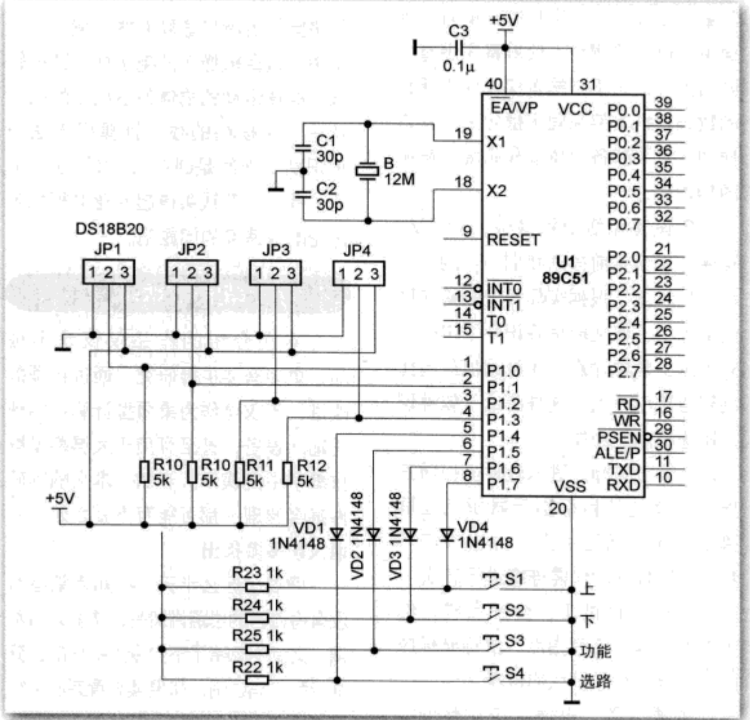


图1

DSI8B20传感器对读写时序的要求

首先对DS18B20传感器的读写时序的要求进行分析和了解。按DS18B20器件手册介绍，对DSI8B20写数据时，主机产生读时间片。当主机把I/O数据总线从逻辑高电平拉至逻辑低电平时，低电平持续时间最少1μs,就产生写时间片。在变为低电平15μs之后，DSI8B20在15～45μs对线采样，如果线为高电平，写1就发生，如果线为低电平，便发生写0。时间片必须有最短为60μs的持续期，各写周期之间必须有最短为1μs的恢复时间。图2为DS18B20生产厂家提供的读写时序图。

从DSI8B20读数据时，主机产生读时间片。当主机把数据线从逻辑高电平拉至低电平时，产生读时间片。低电平持续时间至少1μs；来自DS18B20 的输出数据在读时间片下降沿之后15μs有效，因此，在产生

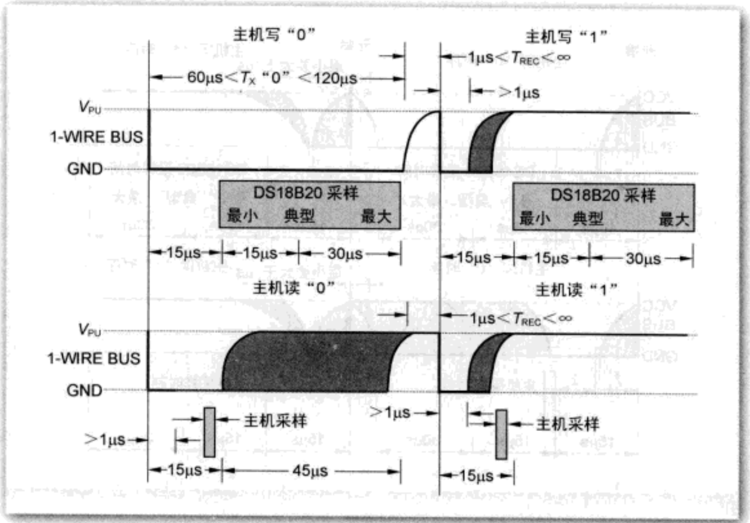


图2

读时间片15μs后主机必须停止把I/O线驱动至低电平，由上拉电阻拉回至高电平，主机在15μs末期对数据线采样，如果线为高电平，就读为1，如果线为低电平，便读为0。读时间片的最短持续期限为60μs，各读时间片之间必须有最短为1μs的恢复时间。

在处理高低电平跳变时，还有必要了解DS18B20传感器直流参数特性。其特性为：I/O口检测低电平范围为-0.3～0.8V，高电平范围为2.2～5.5V，同单片机的I/O口检测低电平范围为-0.5V～0.2Vcc-0.1 V和高电平范围为0.2Vcc+0.9V～Vcc+0.5V基本上相同。

数据连接线缆对读写数据波形的影响

针对微秒级数据脉冲信号，对于较长的数据线缆，不应仅看作纯阻性线缆，应充分考虑线缆中存在的分布电容对数据脉冲信号在跳变时造成延时和变形的影响。其等效电路原理见图3。一般线芯的内阻远小于上拉

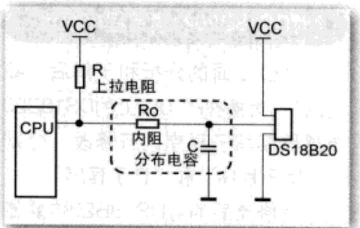


图3

电阻，决定延时量的是上拉电阻与分布电容乘积。在上拉电阻一定的情况下，线缆越长，其分布电容越大，对数据脉冲信号影响也就越大。电缆的材料、结构、工艺等不同，其存在的分布电容指标亦不同，良好的同轴线缆分布电容一般在60 pF/m以下，而扁平排线相邻线芯间的分布电容在300pF/m左右。

用记忆示波器在连接10m长RVV3×0.5mm²型线缆的传感器上观察到的数字波形见图4（上拉电阻为5kΩ）。从图4中可看出，在*t*1时刻主机将数据线拉低，在*t*2时刻才能被DS18B20识别为低电平，延迟了3μs。在*t*3时刻主机释放数据线，在上拉电阻的作用下，在*t*4时刻才上升为被DS18B20识别的高电平，延迟了3μs。从*t*2到*t*4时刻，对DS18B20来说，是近19μs低电平。因此，在采用较长线缆时，如对传感器读写时刻把握不准确的话，会因使对读写的数据信号产生时延变形而不符合DS18B20对读写时序的要求，使对其读写操作失败。在选用较长数据线缆时，还应考虑抗干扰的问题，因此建议尽量采用双绞线或带屏蔽的双绞线作传感器的数据线缆。

换位理解DSI8B20传感器对读写时序的要求

图2是对DS18B20传感器读写时序在主机处的波形图，如果是在DS18B20处的话，其波形图应如图5所示。考虑实际长短数据线的影响，对读写时序的要求理解为：对DSI8B20 写数据时，主机产生读时间片。当主机把I／O数据线在7μs时间内从高逻辑电平拉至低逻辑电平时，维持时间最少1μs就产生写时间片。如写入0，则应维持低电平45～60μs以上，如写入1，应在第8μs后释放数据线，在7μs 时间内拉到为逻辑高电压，并维持45～60μs以上。写时间片必须有最

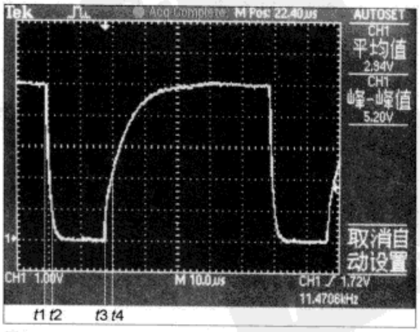


图4

短为60μs的持续期，在各写周期之间必须有最短为1μs的恢复时间。从DS18B20 读数据时，主机产生读时间片。主机在7μs时间内把数据线从逻辑高电平拉至低电平，产生读时间片。数据线必须保持在逻辑低电平至少1μs；来自DS18B20的输出数据在读时间片下降沿之后15μs有效。因此，在产生读时间片8μs后主机必应把I／O 数据线释放，由上拉电阻将数据线拉回至逻辑高电平，主机在15μs末期对数据线采样，如果线为高电平，就读为1，如果线为低电平，便读为0。读时间片的最短持续期限为60μs，各个读时间片之间必须有最短为1μs的恢复时间。在考虑到线缆对波形的延迟和DS18B20传感器发送数据表现的典型时间，在实际操作中，建议将主机对数据线的采样滞后5~9μs，可提高正确读取DS18B20的可靠性。

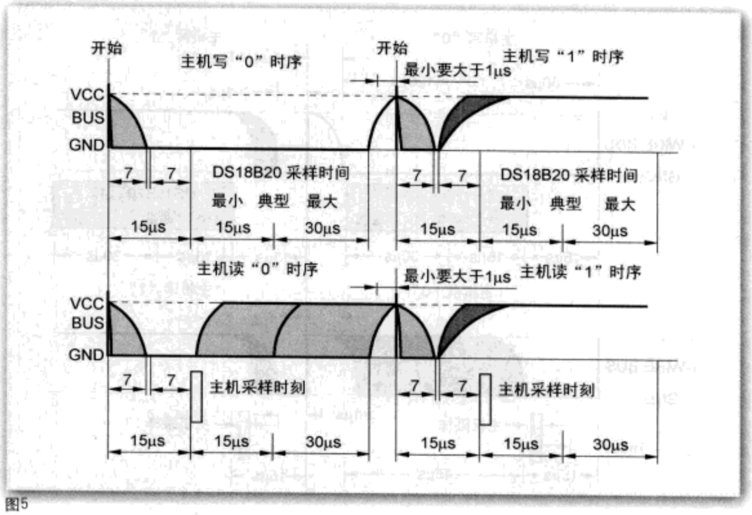


图5

对DS18B20的读写程序探讨

经过上面的分析和了解后，参见图1，对接在P1.0口上的DS18B20传感器读写子程序进行修改，分别见“写子程序”和“读子程序”。

将修改后的对DS18B20传感器读写子程序移入主程序并写入89C51单片机，对用RVV3×0.5mm²型线缆为传感器连线，用1～50m传感器连线，在高、低温环境条件下进行了试验验证，温控仪工作正常，稳定可靠。题图为我公司温控仪的照片。

写子程序

```
WR11:MOV  R2,#8        ;设循环次数
     CLR  C            ;C清零
WR01:CLR  P1.0         ;写开始
     MOV  R3,#2        ;1μs
     DJNZ R3,$         ;等待4μs
     RRC  A            ; 1μs，赋值C
     NOP               ; 1μs
     MOV  P1.0,C       ; 2μs，写数据
     MOV  R3,#26       ;1μs
     DJNZ R3,$         ;等待52μs
     SETB P1.0         ; 1μs，释放总线
     MOV  R3,#3        ;1μs
     DJNZ R3,$         ;等待6μs
     DJNZ R2,WR01      ; 2μs，8位数据写完?
     RET
```

读子程序

```
;****将温度高位和低位从DS18B20中读出***
;****低8位存入21H，高8位存入20H******
RD11:  MOV    R4,#2      ;读二次循环
       MOV    R1,#21H
RE01:  MOV    R2,#8      ; 一循环读8次
RE02:  CLR    C          ;C清零
       CLR    P1.0       ;读开始
       MOV    R3,#3      ;1μs
       DJNZ   R3,$       ;等待6μs
       SETB   P1.0       ;1μs，释放总线
       MOV    R3,#6      ;1μs
       DJNZ   R3, $      ;等待12μs
       MOV    C,P1.0     ;1μs，读数据
       MOV    R3,#21     ;1μs
       DJNZ   R3, $      ;等待42μs
       RRC    A          ;1μs
       SETB   P1.0       ;1μs，释放总线
       MOV    R3,#3      ;1μs
       DJNZ   R3,$       ;等待6μs
       DJNZ   R2,RE02    ;2μs，8位数据读完?
       MOV    @R1,A
       DEC    R1
       DJNZ   R4,RE01
       RET
```

编者按：本刊2008年第10期刊登了一款利用红外线进行自动避障的机器车，不少读者对此很感兴趣，希望能亲自动手制作一辆。其实这款机器车的全称是“智能救援车”，除了避障功能外还有其他很多丰富的功能，如循迹、语音提示、金属探测及转移、里程测量、角度测量等，它在2008年山东省大学生电子设计竞赛中获得了专科组的一等奖。这些功能可根据实际需要灵活组合，还可在此基础上不断扩展新的功能，是单片机爱好者学习和实践相关知识很好的平台。为了满足广大读者朋友制作的需要，本刊特别请该文作者宋泽清老师撰文详细介绍他辅导学生制作机器车的宝贵经验、机器车各项功能的工作原理和制作调试技巧，这些内容也可供准备参加同类电子竞赛的电子专业的师生参考。

机器车制作三部曲

◎宋泽清

◇作者简介

本人自大学毕业至今一直从事电工电子实践教学。小时候对各种玩具车就有着浓厚的兴趣，尤其对电动的玩具车兴趣尤甚。但那时家里太穷买不起玩具车，更不用说电动玩具车。所以只能眼吧吧看着有钱人的孩子玩。那时就暗暗发誓“自己好好学习，将来赚了钱，做一辆比他们的车更高级的车”。由于目标明确，所以学习格外用功，从小学到高中，再到大学学习成绩一路遥遥领先，毕业之后终于“混上了铁饭碗”，当了一名光荣的人民教师。直到今天回想起来，我都暗自庆幸，“幸亏我的玩具车的理想”，否则，我可能考不上大学，更当不上教师。所以我要感谢我的“玩具车”的梦想。在这里把我的做车经历与读者分享，与同行交流。

座右铭：世上无难事，只怕有心人。

机器车制作一部曲——消防智能车

真正圆梦的时间是2006年的山东省大学生电子设计竞赛。2004年我开始指导学生参加大学生电子设计竞赛，一直期盼着能有一道关于车的题目。2004年没有，2005年还是没有。2006年山东省大学生电子设计竞赛的题目终于有一道车的题《消防智能车》，没有任何犹豫地指导学生做了起来。题目的要求是：设计制作一个消防智能小车模型，能到指定区域进行抢险灭火工作。题目看起来并不太难，只要买到合适的火焰传感器，通过单片机的控制让机器车合理避障找到火源，启动风扇即可灭火。但这个题目做到最后我们只获了山东赛区三等奖，如图1所示就是当时做的《消防智能车》。

最后分析车的性能不佳的原因有以下几点：

1. 整车转向不灵活，要想转向灵活必须选带万向轮的双驱三轮车，我们选了4轮车。

2. 一些比较难购的元件如火焰传感器、驱动电机最好平时有准备。我们做线路板3天，从买到火焰传感器到上车调试只有1天的时间，只怪我们对这些东西的信息掌握得太少，时间都浪费到采购上去了，哪还有时间调试。

图1 消防智能车

《消防智能车》是我指导学生做的第一辆机器车，虽然作品有点拿不出手，但它毕竟是我的“处女作”。从经验上最起码知道车该怎样做了。从此，平时用心研究车，电子设计大赛中每遇车必做，真跟车较上劲了。

机器车制作二部曲——电动车跷跷板

2007年全国大学生电子设计竞赛F题是《电动车跷跷板》，看到这个题，义无反顾地又选上了。《电动车跷跷板》的要求：设计并制作一个电动车跷跷板，在跷跷板起始端A一侧装有可移动的配重。配重的位置可以在从始端开始的200～600mm范围内调整，调整步长不大于50mm，配重可拆卸。电动车从起始端A出发，可以自动在跷跷板上行驶。本题的重点在于车的平衡，车要会自动平衡必须配倾角传感器，车要按要求走路必须会循迹。这次由于元器件准备较充分，我们的《电动车跷跷板》获得了山东赛区二等奖，你看有进步了吧？如图2即是我的第二个作品，有进步的《电动车跷跷板》。

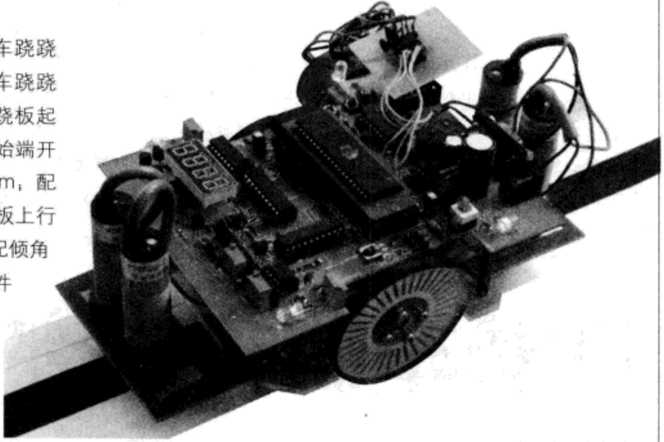


图2 电动车跷跷板

高兴之余，我总结了我的第二台车的不足之处：

1. 车是选了转向灵活带万向轮的独立双驱三轮车，但是车走起来，不如人家的稳。问题在哪儿？分析来分析去，还是万向轮不合适。万向轮除要求转向灵活外，要选轮大的，这样车走起来才稳，否则车行走起来会“哆哆嗦嗦”。不要小看这一“哆嗦”，“哆嗦”之后的结果是倾角传感器测角度不准，最终平衡得就不好。

2. 车的反应太慢。单片机是车的“大脑”，车控制的灵敏程度除和硬件有关系外，主要在大脑内涵的“程序”上。程序的调试要有耐心，要反复调试选择最佳方案。

机器车制作三部曲——智能救援车

2008年山东省大学生电子设计竞赛G题是《智能救援车》，看到这个题我高兴极了，因为通过2006年、2007年两年的做车经历，我积累了一定的经验，最关键是又有我喜欢做的车了。我想这个车我一定能做得更好。果不其然，《智能救援车》这个题目我们获得了一个一等奖、一个二等奖。获奖之后领导表扬，学生兴高采烈。图3所示是我们的《智能救援车》。

这里总结一下我做车的成功经验：

1. 机器车的主板功能尽可能地完善。平时做准备的时候，把车的功能考虑得全面一些，尽可能地将功能模块做到主板上，真正做到有备无患。

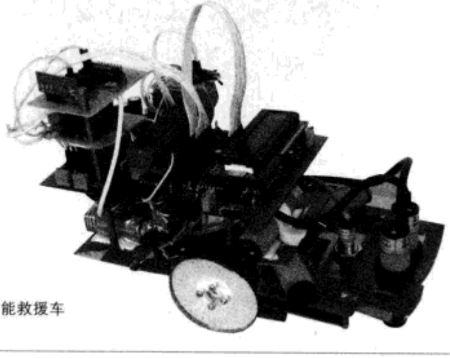


图3 智能救援车

2. 有些不好集成到机器车主板上的功能模块，事先做好单元功能模块板，板子四周预留安装孔，用到时采用搭积木的方式再安装上。

3. 平时对学生进行训练时，可让学生分功能地训练。如循迹、避障、测速、测里程、倾角测量、遥控、语音、温度、电池电压、金属探测等分功能。

4. 最好配备线路板制作设备，不出门就能做线路板，基本做到万事不求人。

5. 机器车的“大脑”是单片机，“大脑”要会思维就必须有程序，程序的设计对车的性能有很大的影响。程序的设计最好采用可移植性好的C语言，程序的训练重在平时。平时将循迹、避障、测速、测里程、倾角测量、遥控、语音、温度、电池电压、金属探测等功能设计成模块化的子函数，比赛时拿过来就用，这样开发的效率就高了。

6. 配上了进口的万向轮，又灵活又稳定。

总结以上做车的经历，最后我的体会是“世上无难事，只怕有心人”，朋友们努力吧！

认识智能救援车

◎宋泽清

随着科学技术的发展，机器人在工业、农业、国防及人民生活中获得了广泛应用。特别是在抢险救援中，机器人具有无比的优越性。

图1所示就是本文将要介绍的智能救援车，它个头虽然不大，却功能多多，包括避障、循迹、金属检测及转移（救援）、语音提示、液晶显示、无线遥控、温度测量、速度里程显示、角度测量、电池检测提示等功能。图2所示是该车的底盘。这个智能救援车以单片机AT89S52为控制核心，采用两个直流减速电机作为左右驱动电机，选用电机专用驱动芯片L293D进行驱动。避障、循迹均由光电开关来完成，金属探测部分采用电感式接近开关检测铁金属片，用电磁线圈控制金属片拾与放。语音电路采用语音专用芯片ISD1420录制4段语音，单片机控制录放。

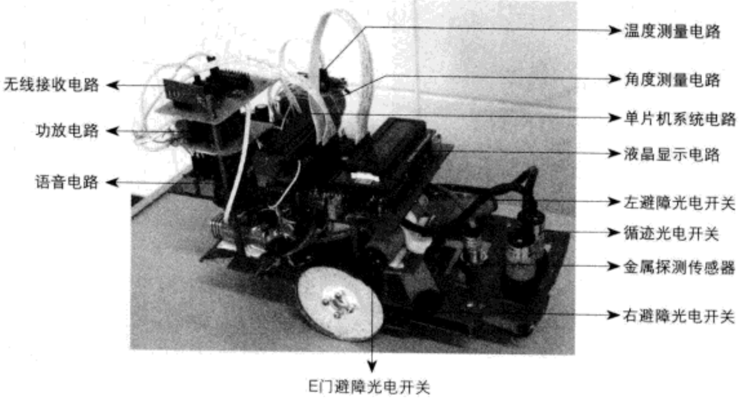


图1 智能救援车实物

图2 智能救援车底盘

一、设计任务概述

智能救援车的设计任务源自2008年山东省大学生电子设计竞赛的G题。语音提示、无线遥控、温度测量、里程显示、角度测量、电池电压检测为自己扩展。

1. 设计任务概述

设计制作一个智能小车，该小车能按照要求自动运行，通过一个建筑物中曲折的道路并完成规定的动作。智能救援车场地如图3、图4所示，设矩形建筑物有两个门A和B，门宽24cm，建筑物的墙壁是10cm高（或与小车高度相同）、2cm厚的矮墙，建筑物内无引导轨迹。

2. 基本任务

（1）要求智能小车从A门进入并开始自动计时，从B门出来，在行进过程中，能自动选择适当的路径，避开墙壁，找到通路，三分钟之内到达B门；

（2）到达B门，停5s，小车自动计时并数字显示AB段所用的时间，同时声光报警。

3. 发挥部分

（1）自B门外，循弧形引导轨迹BC前进（引导轨迹为2cm宽）；

（2）途中检测到铁片D（铁片D放置在轨迹BC前二分之一段上的任意位置）时停车3s，并声光报警；

（3）要求小车拾起铁片D，继续沿引导轨迹前进；

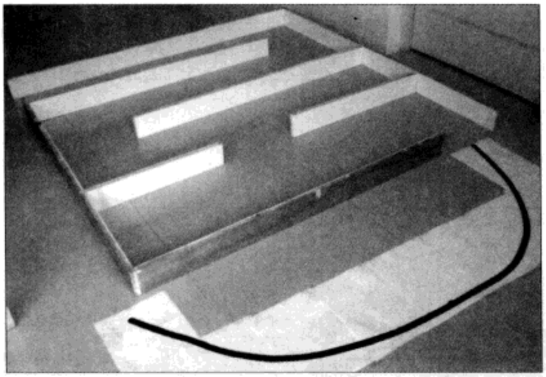


图3 智能救援车场地实物

(4) 到达C点；

(5) 在C点处，放下铁片D并停止前进。声光显示救援结束，并停止计时，分别显示BD、DC段所用的时间。铁片为直径2cm的圆形薄片。

4. 扩展部分

(1) 语音提示

(2) 无线遥控

(3) 温度测量

(4) 里程显示

(5) 角度测量

(6) 电池电压检测

二、系统构成

根据题目中的设计要求，本系统主要由微控制器电路、电源电路、避障电路、循迹电路、减速电机电路、金属探测、转移电路、显示电路、语音电路、功放电路、里程电路、无线发射、接收电路、角度测量电路、电压检测电路、蜂鸣器电路、测温电路等构成。本系统的方框图如图5所示。

三、软件设计总流程图

总流程图见图6。

四、智能救援车的制作要点

1. 智能救援车的主板电路功能尽可能齐全，这样才能保证调试方便。若需增加功能电路可借助铜柱将其固定在主板的上方，但不能超过车体的宽度。

2. 选择合适的单片机

单片机是智能救援车控制中心，因智能救援车的功能电路较多，程序量较大，所以单片机系统电路中的单片机应选

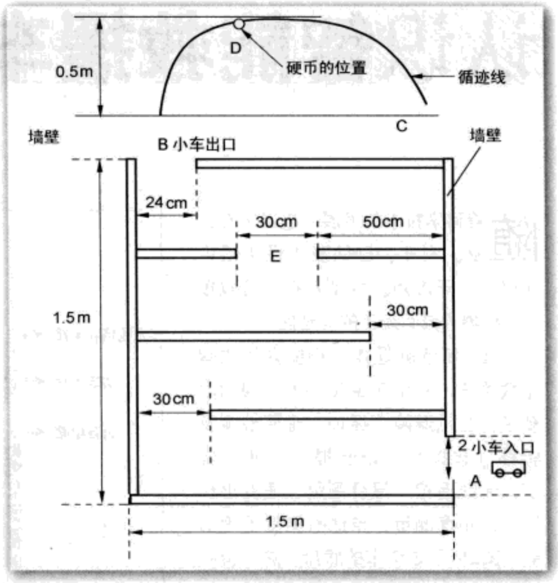


图4 智能救援车场地图

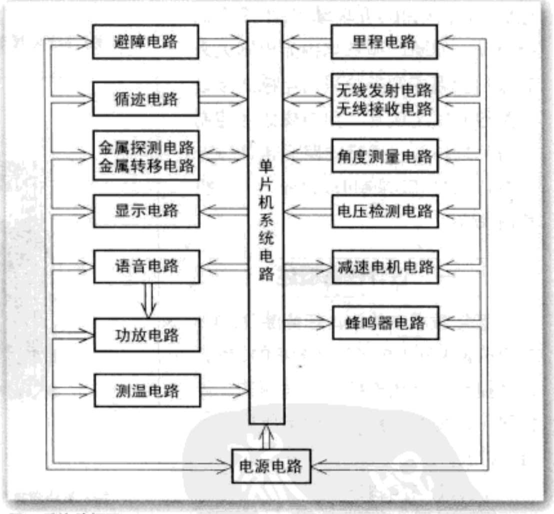


图5 系统总框图

用程序存储器存储量较大的单片机，在智能救援车中我们选用具有8K字节在系统可编程Flash存储器的单片机AT89S52。

3. 电池应选用重量相对较轻、存储电量较大的可充电镍氢电池，本智能救援车选用6节1.2V800mAh的镍氢电池组。

4. 电机应选用动力强劲的减速电机，即使同一型号的电机也要严格匹配电机的扭矩、转速，尽可能选用一致性较好的两个减速电机，这样在调试过程中才能避免因两个电机

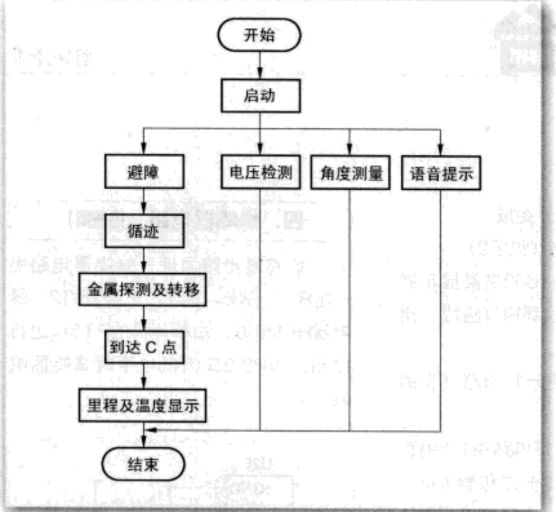


图6 总流程图

不匹配带来的不必要的烦恼。

5. 选用合适的万向轮。智能救援车的灵活转向，主要取决于转向轮的灵活性，在制作过程中应选用转向极其灵活的万向轮；万向轮的宽度决定智能救援车整车的运行稳定性，因此在不影响转向灵活性的基础上尽可能选用较宽的尼龙万向轮。

6. 避障、循迹用的漫反射型光电开关只要作用相同，就要严格匹配光电开关的灵敏性、探测距离；特别值得注意的是漫反射型光电开关并不是反射距离越远越好，根据现有智能救援车的场地，探测距离30cm的漫反射型光电开关比较合适。

7. 金属探测传感器的安装位置距金属片的距离要合适，要保证探测的灵敏性。

8. 金属转移继电器应选用5V继电器改装，吸力越大越好，距离金属片的距离只要条件允许，越近越好。

五、智能救援车的制作收获

1. 硬件制作方面

智能救援车的功能非常齐全，包括避障、循迹、金属检测及转移（救援）、语音提示、液晶显示、无线遥控、温度测量、速度里程显示、角度测量、电池检测提示等。通过硬件电路的设计将平时所学的模拟电路、数字电路、传感器、电子测量、单片机等方面的知识获得了综合运用，在智能救援车的设计、制作、调试过程中使所学的知识得到了升华，个人动手能力得到了极大的提高。

2. 软件方面

智能救援车的软件与硬件是相辅相成的，智能救援车的软件采用C语言编写。通过智能救援车的程序的编写，将单片机C语言的各种语句、语法结构进行淋漓尽致地运用，使单片机课本知识在智能救援车上获得了验证，提高了单片机C语言的编程能力。

总之，通过智能救援车的设计、制作、调试使我们的“硬件更硬、软件更软”,弥补了在电子设计方面“硬件不硬、软件不软”的缺点。

六、鲁战磊同学参加电子设计竞赛的体会

2008年“ZLG”杯山东省大学生电子设计大赛落下帷幕，我与吴丛善、魏玉良合作的智能救援车在宋泽清老师的指导下获山东赛区一等奖。对于我们每一个参与其中的同学而言，心里都久久不能平静。我的体会是：

1. 大家又经历了一次风雨，又成长了一步。无论最终比赛结果怎么样，已不重要，重要的是经历的这一过程将是我们人生中一笔难得的财富，对我们今后走向工作岗位将有莫大的帮助。

2. 被指导教师的敬业精神感动。“我们的指导老师整整一个夏天都在学校对我们进行培训，不管任何情况，他们从不耽误，一直和我们在一起，比赛那几天几夜，通宵达旦，老师和我们一样吃睡都在实验室，节假日也不例外，给了我们无形的力量。

3. 我们的能力有了非常大的提高。这里所说的能力包括获取资料的能力、阅读能力、系统设计能力、分析排除故障能力、表达能力等诸多方面，电子设计竞赛的赛制决定了上述能力缺一不可。

4. 培养了我们的团队精神。电子设计竞赛要求3人组队参赛，集体计算成绩，这就要求3个人必须互相信任、互相配合、分工合作。在顺境时小组成员要相互提醒保持冷静，逆境时要相互鼓励共度难关，出现问题时不能相互埋怨。记得是比赛第二天智能救援车刚进入硬件电路调试，由于充电限流电阻太小，充电时将电路板烧坏了，当时就傻眼了，心情非常沮丧，是同学吴丛善、魏玉良的鼓励，使我重新振作起来。2个人连夜加班又做了一块，才得以继续调试。

5. 锻炼了我们的心理素质。电子设计竞赛的赛制决定了竞赛结果的产生会有很大的不确定性，一个极其偶然的失误都会导致最终的不理想结果，因此需要参赛者具备良好的心理素质，全心全意投入紧张激烈的比赛，并且以一颗平常心面对最终的结果。

6. 锻炼了我们的应变能力。电子设计竞赛的赛制要求我们在规定时间内完成规定的题目，时间急迫会出现各种意想不到的结果，所以我们必须在尽可能短的时间内解决问题，这就需要在平时的训练中提高应变能力。

打造最小系统平台

◎宋泽清

看了前面智能救援车有这么多本领和功能，是不是有点眼花缭乱，不知道该从哪里入手了呢？别急，下面就向大家介绍智能救援车的最小系统，先把这部分制作好，其他的功能就可在此平台基础上逐步增加和扩展了。

智能救援车的最小系统包括电源电路、显示电路、微控制器电路、蜂鸣器电路、电压检测电路、减速电机电路等构成。

一、电源电路(见图1)

车载电源采用GB1（6节1.2V镍氢电池）提供7.2V电压，经三端稳压器U24（LM7805）稳压、电容滤波后获得5V直流电源，供给后续电路使用。镍氢电池的充电使用专用充电器。

二、显示电路

显示电路由两部分组成：

1. 液晶显示电路（见图2）

液晶显示电路由1602液晶显示器U20、电阻R38、电位器RP1组成，用于机器车的状态指示。

2. 发光二极管指示灯电路（见图3）

发光二极管指示灯电路由1个锁存器74HC573驱动4个发光二极管VD2、VD3、VD4、VD5，VD2、VD3用于左转弯提示，VD4、VD5用于右转弯提示。

三、单片机系统电路（见图4）

单片机系统电路中采用ATMEL的89S52单片机，复位电路由按键S7、电解电容C17、电阻R35组成，时钟电路由12MHz石英晶体振荡器B1、瓷片电容C15、C16组成，为提高P0口的驱动能力，P0口采用REP1排阻上拉。

四、蜂鸣器电路（见图5）

蜂鸣器电路原理：蜂鸣器电路由电阻R17、R36、R37、三极管VT2、蜂鸣器HA1组成，由单片机的P3.3口进行控制，当P3.3口为低电平时蜂鸣器鸣响。

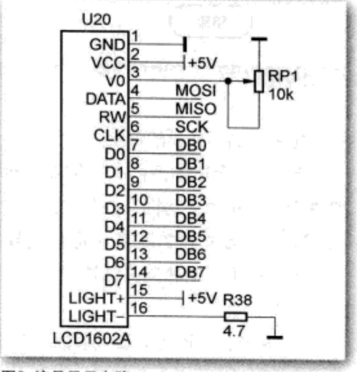


图2 液晶显示电路

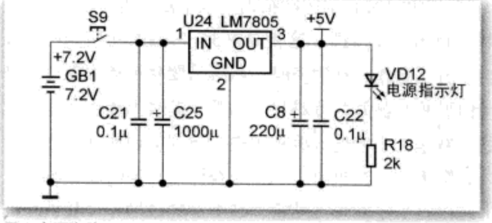


图1 电源电路

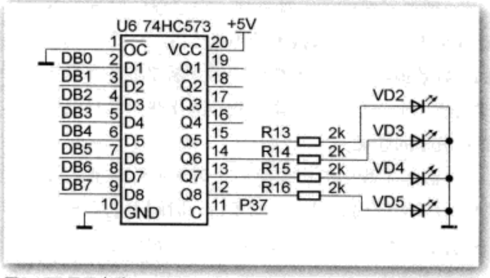


图3 LED显示电路

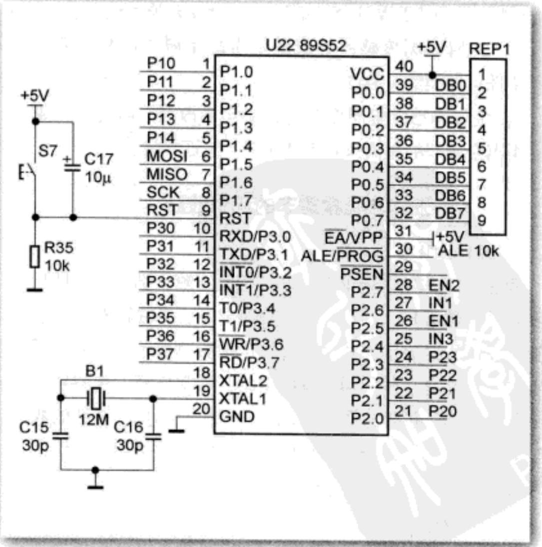


图4 单片机系统电路

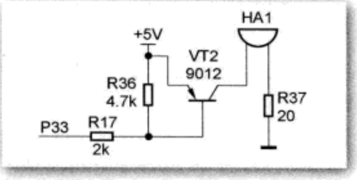


图5 蜂鸣器电路

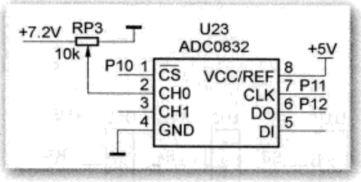


图6 电池电压检测电路

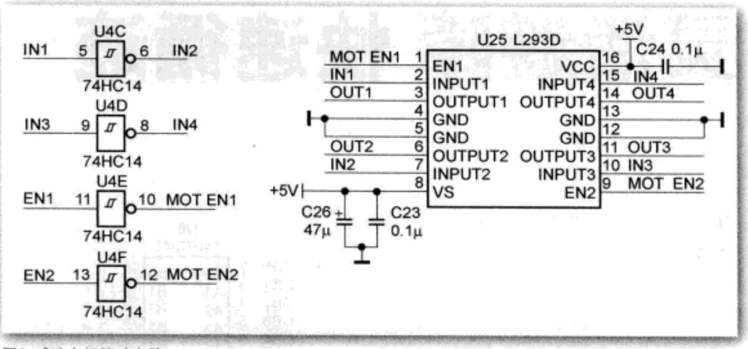


图8 减速电机驱动电路

附表

IN1	IN3	EN1	EN2	MOTOR1(左)	MOTOR2(右)	智能救援车
1	1	0	0	正转	正转	前进
0	0	0	0	反转	反转	后退
1	0	0	0	正转	反转	右转
0	1	0	0	反转	正转	左转

注：1为高电平，0为低电平

图7 液晶屏显示电池当前电压

五、电池电压检测电路（见图6）

电池电压检测电路原理：电池电压检测电路由可调电位器RP3、8位AD转换集成电路U23（ADC0832）组成。

智能救援车的运行动力来源于电池，电池电压过低会造成整个系统无法运行。因此要实时检测电池电压，当检测到电池电压过低时，单片机就控制报警电路报警提示进行充电。

调试：

1．电池GB1的额定电压为7.2V，经测试当电池电压≤5.76V时，智能救援车无法工作。所以电池电压检测电路的检测电压为5.76V，当电池电压低于5.76V时报警提示进行充电。

2．电池电压通过电位器RP3的中间抽头采集。当电池电压7.2V时，调节电位器至正常电压5V；当电池电压5.76V时，RP3的中间抽头测量电压为4V。当单片机检测到≤4V电压时，蜂鸣器HA1鸣响、发光二极管VD2、VD3、VD4、VD5全亮，声光报警提示进行充电，液晶屏显示电池当前电压，如图7所示。

六、减速电机电路（见图8、图9）

常用的电机有伺服电机、调速电机和减速电机几种。

伺服电机一般也被称为舵机，主要应用在需要精确控制位置的地方，比如数控机床、遥控模型飞机以及真飞机的舵面控制、船舶舵面控制等。

调速电机一般应用在需要调速度的场合，如空调、光驱、DVD机中的驱动电机多采用调速电机。

减速电机由电机和变速箱组成，比用电动机再带一个减速箱体积要小得多，一般应用在不方便使用独立减速箱的环境，如汽车雨刮器的电机就采用的是减速电机。

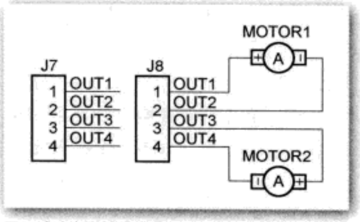


图9 减速电机接线电路

本智能救援车采用减速电机作为动力装置，电机驱动电路采用电机专用驱动芯片U25（L293D）驱动左、右两个直流减速电机，用U4（74HC14）的4个反相器控制L293D的输入及使能信号，使智能救援车左转、右转、前进、后退、停止。

调试：

1．在选用两个减速电机时，应尽可能使两个减速电机的实测参数一致。

2．电机控制如附表所示。

以上就是智能救援车的最小系统电路，各部分电路的元件参数已在原理图中标注，制作时照参数采购即可。

灵活避障 快速循迹

◎宋泽清

智能救援车是机器，必须给它安装各种传感器，车子才能感知外边的精彩世界，按照“大脑”即微控制器的控制完成相应的任务。在完成智能救援车单片机最小系统的基础上增加避障电路、循迹电路，智能救援车就能按要求走路了。

一、避障电路（见图1）

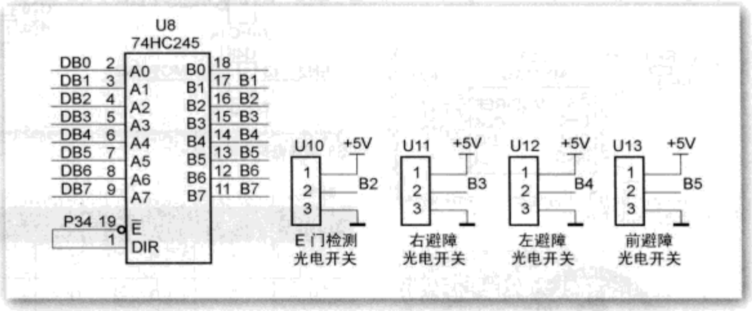


图1 避障电路

避障电路采用漫反射式光电开关进行避障。光电开关是集发射头与接收头于一体的检测开关，其工作原理是根据发射头发出的光束，被物体反射，接收头据此做出判断是否有障碍物。当有光线反射回来时，输出低电平；当没有光线反射回来时，输出高电平。单片机根据接收头电平的高低做出相应控制，避免小车碰到障碍物。由于接收管输出TTL电平，有利于单片机对信号的处理。

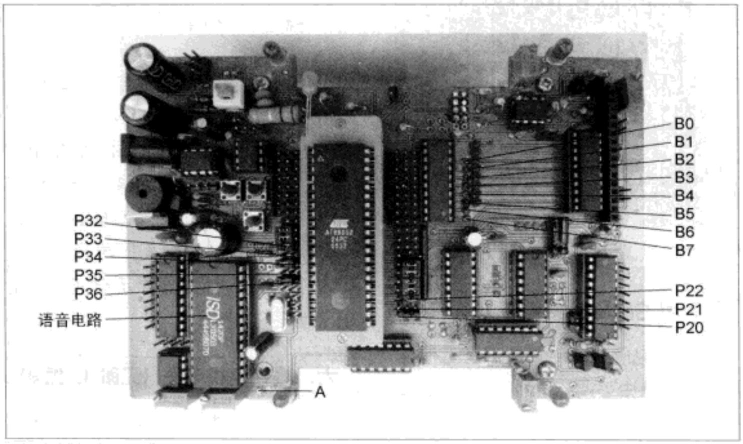


图2 主板电路中的测试点

避障电路由双向总线驱动器U8（74HC245）、E门检测光电开关U10（E3F-DS30C4）、右避障光电开关U11（E3F-DS30C4）、左避障光电开关U12（E3F-DS30C4）、前避障光电开关U13（E3F-DS30C4）组成。

4个光电开关的安装：底层最前面一个光电开关U13检测前方障碍物，左侧光电开关U12检测左侧障碍物，右侧光电开关U11检测右侧障碍物，上层右侧光电开关U10负责检测场地的E门，4个光电开关配合完成避障和寻门的作用。具体的安装位置见图3。

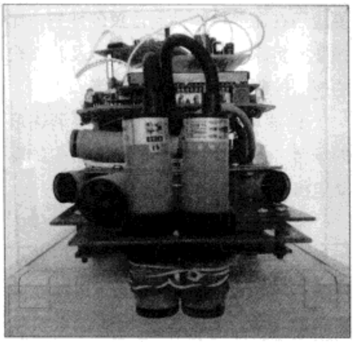


图3 避障开关安装图

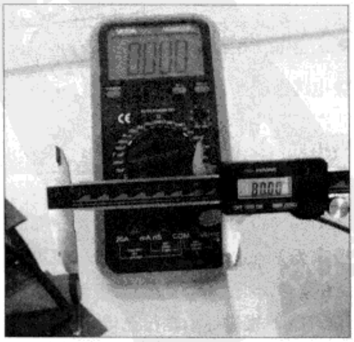


图4 避障光电开关有效距离

调试：

1. 为保证绝大多数情况下智能救援车行走在道路中间，左右避障光

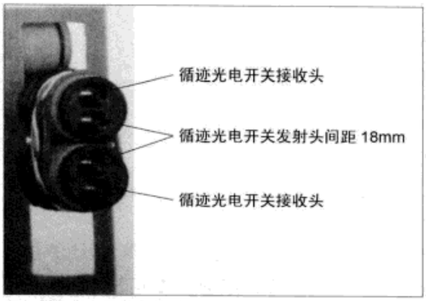


图5 循迹光电开关安装图

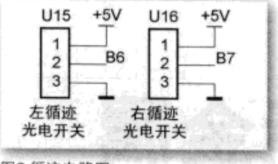


图6 循迹电路图

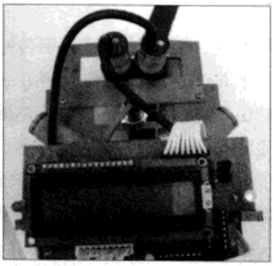


图7 循迹偏左

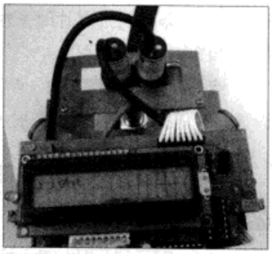


图8 循迹偏右

表1

避障光电开关名称	测试点	检测距离
右避障光电开关	B3	8cm
左避障光电开关	B4	8cm
前避障光电开关	B5	8cm
E门避障光电开关	B2	10cm

表2

循迹光电开关名称	测试点	检测距离
左循迹光电开关	B6	7cm
右循迹光电开关	B7	7cm

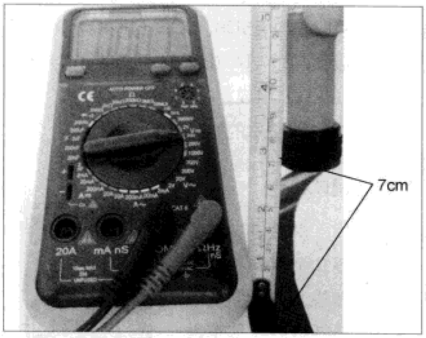


图9 循迹光电开关装车前的测试

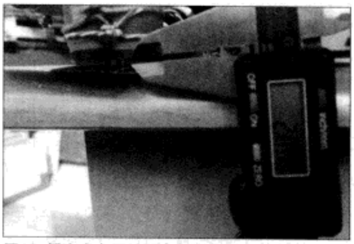


图10 循迹光电开关距离循迹线实际距离

电开关探测距离应保证一致。具体方法是：左右避障光电开关在装车之前接5V电源，调节光电开关的微调电位器，使障碍物在光电开关的前方距离为8cm时，光电开关输出低电平，测试点为B3、B4，如图2所示。测试方法见图4。

2. 前避障光电开关用于前方障碍物检测，为保证前方障碍物检测的可靠性应作相应调试：调试方法与要点1方法相同，测试点为B5，如图2所示。

3. E门避障光电开关专门用于场地E门的检测，调试方法与要点1相同，使障碍物在光电开关的前方距离为10cm时，光电开关输出低电平，测试点为B2，如图2所示，各避障光电开关的检测距离如表1所示。

二、循迹电路（见图5）

智能救援车的循迹采用2个光电开关U15（E3F-DS30C4）、U16（E3F-DS30C4）来完成，其安装图见图5。当光电开关检测到浅色物体时，光线反射较强，输出低电平。当光电开关检测到深色物体时，光线反射较弱，输出高电平。单片机根据2个光电开关电平的高低做出相应控制，实现循迹。

图7所示为智能救援车的循迹偏左时的状态：液晶显示left，右侧发光二极管亮，指示下一步车要右转。

图8所示为智能救援车的循迹偏右时的状态：液晶显示right，左侧发光二极管亮，指示下一步车要左转。

调试：

1. 为保证智能救援车循迹的可靠性，经测试左右循迹光电开关作如下调试：左右循迹光电开关在装车之前接5V电源，调节光电开关的微调电位器，使光电开关在循迹线的上方距离为7cm时，光电开关输出低电平，电平测试点为B6、B7，如图2所示，距离测试如图10所示。

2. 因循迹线采用宽度为20mm黑色线条，为保证循迹的可靠性，用于循迹的2个光电开关的发射头应排在内侧，接收头在外侧，发射头中心点间距为18mm，左右循迹光电开关距黑线边缘1mm。如图5所示。

3. 循迹光电开关距离循迹线实际距离为2mm，如图10所示。

左右循迹光电开关测试点及距离见表2。

这就是避障、循迹电路，只要选择好避障、循迹电路用的漫反射式光电开关，照图1和图6接线，调试方法得当，智能救援车就能避障、循迹。

三、软件流程图

避障软件流程图和循迹软件流程图可到《无线电》杂志网站（*www.radio.com.cn*）下载。

让救援车探测和搬运金属

◎宋泽清

智能救援车在经过千难万险（避障、循迹）过程后，接下来的任务就是寻找救援对象（金属探测），实施救助（金属转移）。

一、金属探测电路（见图1）

金属探测采用1个LJ12A3-4-Z/BX型电感式接近开关U9（见图2），其可靠探测距离为4mm。当探测到金属时，电感式接近开关输出低电平，当探测不到金属时，电感式接近开关输出高电平，单片机根据电感式接近开关输出电平的高低判断是否检测到金属片。

具体调试方法为：

1. 为保证智能救援车金属探测的可靠性，经测试金属探测传感器作如下调试：金属探测传感器在装车之前接5V电源，使金属探测传感器距离金属片<4mm时，金属探测传感器必须输出低电平，最后金属探测传感器距离金属片的实际距离为3mm，电平测试点为B1，见《灵活避障 快速循迹》图2；实际距离如图3所示。

2. 当探测到金属片时智能救援车状态如图4所示。

液晶显示Find Target，4个发光二极管同时闪亮，蜂鸣器报警提示。

二、金属转移电路（见图5）

金属转移电路原理：

当检测到金属片时，单片机控制2个继电器K1、K2吸合，将金属片吸起来。

为保证金属转移的可靠性，金属转移电路由两个独立的继电器电路组成。具体电路由继电器K1、K2（5V4123），吸收二极管VD8、VD9（1N4007），三极管VT3、VT4（8550），电阻R11、R12（1kΩ）组成。

改装后的继电器如图6所示。

调试：

为保证智能救援车金属转移的可靠性。2个金属转移继电器在装车之前接5V电源，使金属转移继电器吸合

图6 金属转移继电器

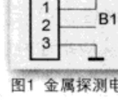


图1 金属探测电路

图2 金属探测传感器

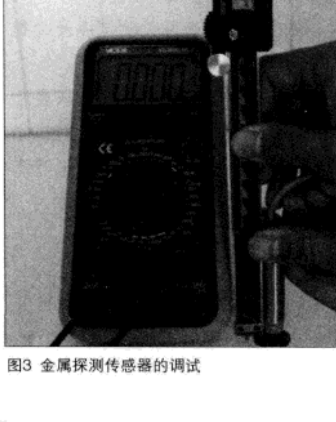


图3 金属探测传感器的调试

图4 探测到金属片时智能救援车状态

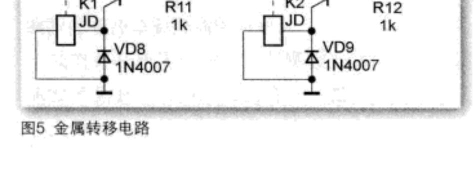


图5 金属转移电路

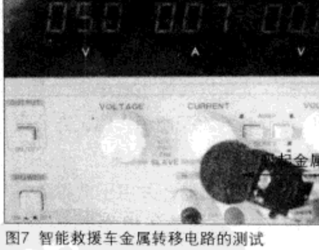
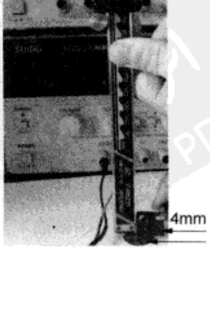


图7 智能救援车金属转移电路的测试

图8 金属转移继电器的有效距离



仿击缶倒计时点阵LED驱动IC赠送活动圆满结束

◎编辑部

本刊2008年第11期的样片赠送活动送出的点阵LED驱动IC受到读者的热烈欢迎，来自维修店、电子企业、大中职业学校、部队等各行各业的读者怀着万分激动的心情给我们发来了电邮。以下是部分读者的来信：

我是一名家电维修人员，这几年随着家电的降价，家电维修这行也越来越不好做了。而且家用电器也越来越趋向数字化，这都是以单片机为基础的。为此从去年开始，我开始学习单片机的知识，从我们石家庄新华电子城购买了简单的单片机实验板，现在学会了一些简单的程序。早就想买LED显示屏，学习LED屏显示技术，这次《无线电》杂志给了我们这么好的机会，所以我决定也申请一块LED点阵显示驱动IC，进一步对单片机的程序进行学习。 **（河北 赵庆会）**

我是一个电子技术工作者，经常做些电子实验来提高工作效率，如单片机音频自动停播垫乐及检测等。北京奥运开幕式之前自己有幸亲自参加火炬传递甘肃段的直播任务，把圣火传递的直播信号传递到中央人民广播电台的直播间，这对我是一大鼓舞。我要把这一工作做得更好，特申请驱动IC不断提高自己的技术水平，希望编辑能够满足自己的这一愿望。 **（甘肃 相沪平）**

从去年接触《无线电》后我发现自己爱上了单片机这个板块！女朋友过生日我总是会送一块电路板作为生日礼物！很有意义！去年是摇摇棒，今年是LED点阵字幕！她很喜欢！我也很开心！这次看到了《无线电》上用的595芯片和我做的LED点阵字幕用的方案不太一样，想申请来试着做一做，感受一下它的优点！顺便回顾一下奥运的感觉！希望老编给个机会哦！ **（安徽 王鹏）**

我是一位在读的大学生，现在正在学习单片机这门课，我们都明白学习这门课只看课本是学不好的，因此我们的老师讲课也从没有按课本上的顺序讲，而是讲一个个的项目，还指导我们做出实物。我感觉这样的学习很好，激起了我很大的学习兴趣。我特别注意《无线电》这本杂志，每期必买，里面的东西介绍得既专业又详细，给我有很大的帮助。

我想申请一块LED点阵显示屏驱动IC，能做出这样的一个倒计时牌对我来说不仅学习了单片机，也算是对奥运的一种纪念。 **（湖北 黄鑫）**

我是一名业余的电子爱好者，自从高中迷恋上单片机之后，就非常喜欢自己DIY一些电子制作。《无线电》这本杂志是我的启蒙书之一，在杂志中学到了很多知识，在制作的过程中体验到了无限的乐趣！

在仔细阅读《精彩纷呈的仿奥运会开幕式击缶倒计时牌》一文之后，我非常激动，渴望自己能亲手制作出这样的一个电子产品！如果我能申请到的话，我会马上根据文章和自己的思路加以制作，写好制作报告，做好制作记录！如果不能申请到，我也会继续关注申请到的爱好者的作品！ **（四川 周棚）**

从小我就喜欢玩电子制作，做过不少小作品，曾获得过省市科技创新大赛的一等奖。今年我刚上大学，学的是电子专业。前年，我接触了单片机这门学问，顿时对它产生了兴趣，又是买书，又是在网上查资料，2009年的《无线电》我也已经订啦。我对LED阵列显示十分感兴趣，看到马路上的各种显示牌、电动门上的指示牌，都想自己做一块，但就是不成功，有时甚至产生买一块现成显示器的冲动。当看到《精彩纷呈的仿奥运会开幕式击缶倒计时牌》这篇文章后，又产生了制作的兴趣，望编辑们能够成全我的这个想法，谢谢！ **（山东 单昕）**

我是一名部队的老通信人员，单片机在部队通信装备中的应用越来越广泛，为适应通信技术的发展需要，在平时工作之余想更多地学习一些现代电子技术以便更好地为部队服务，特申请该电路。 **（江苏 熊荣安）**

在此感谢读者对本次活动的支持！获赠的100名幸运读者的名单已经在*www.radio.com.cn*上公布，今后我们还会为读者组织更多类似的活动，欢迎参加。

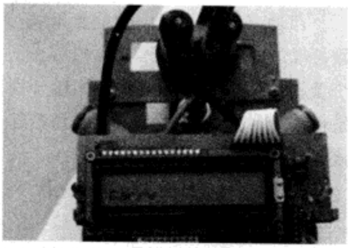


图9 金属转移时智能救援车的状态

时，距离金属片<4mm时，金属转移继电器必须可靠地吸起金属片，如图7所示；最后金属转移继电器距离金属片的实际距离为4mm，如图8所示。金属转移时智能救援车的状态如图9所示。

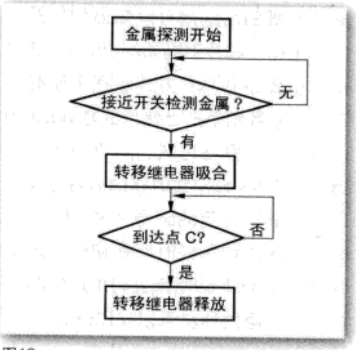


图10

三、软件流程图

金属探测及转移流程图见图10。

以上为智能救援车的金属探测及转移电路的制作及调试，这部分电路比较简单，重点是选择合适的金属探测传感器及继电器和调试，只要按图接线一般均可成功。

用DS12887制作——无电源仍可走时的时钟

◎李海秋

乍一看题目读者可能会纳闷，这是什么奇怪的东西，不用电源还可以工作？其实笔者只是在这里卖了个关子，说的是不用外加电源也可以正常走时，并不是说整个电路工作时不需要供电。也就是说不使用时这个时钟不需要供电，在你加上电源之后就可以显示时间，并且仍然是正确的。就好像有些手机关闭之后又取下电板，等你下次开机的时候它又能显示正确的时间。其实这些手机里面都是有后备电池的，就是做时钟那一小块电路有后备电池供着电的。要是后备电池没有了电，取下电板后问题就来了，这也是为什么有些用久了的手机取下电板再装上，时间就不对了的缘故。但是本文说的这个时钟不需要外加后备电池，那它是怎么做到这一点的呢？请听我慢慢道来。

先了解一下“主角”的基本特性吧。DS12887是Dallas半导体公司推出的实时时钟芯片，在芯片内部集成了石英晶体、锂电池和其他支持电路，在没有外部供电的情况下，可以正确走时10年；可以计数时分秒、年月日和星期等信息，而且闰年补偿到2100年有效；内部的闹钟寄存器用来保存闹钟时间，当实时时间等于闹钟时间时，在DS12887的$\overline{IRQ}$引脚输出低电平，微控制器可以利用此信号作为闹钟信号来处理。笔者用万用板焊接了电路，实物图见图1。

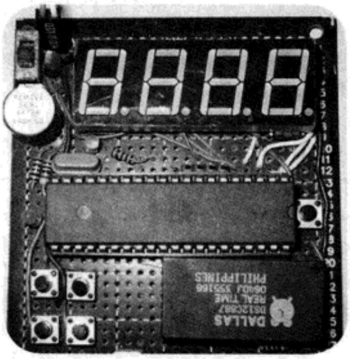


图1 实物图

下面将介绍如何使用DS12887制作这个时钟。

芯片引脚

了解了“主角”的基本特性，再来看看它的引脚。一个芯片的引脚可以看作是跟外界“交流”的通道，了解了引脚的用法就可以知道如何跟单片机相连。芯片引脚如图2所示，其中部分引脚命名与官方的数据手册有所不同，原数据手册上使用的是Motorala总线时序的命名方式，这里为了方便理解，采用Intel总线时序的命名方式，因为文章所使用的51单片机即为Intel时序。这两种总线时序最初分别是用在Motorala和Intel两家公司生产的芯片中，有兴趣的朋友可以在DS12887的数据手册上找到更详细的信息。

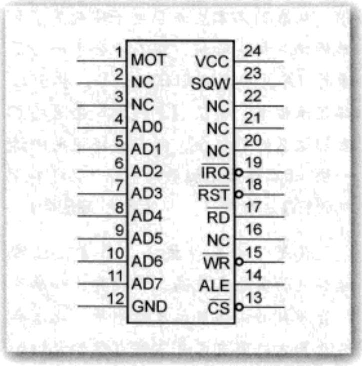


图2 DS12887引脚

引脚MOT为总线方式选择，DS12887可以有两种时序：当MOT接VCC时选择Motorala总线时序；当MOT接地或悬空时选择Intel总线时序。本文用AT89S52作为控制器，AT89S52作为一种典型的51单片机，理所当然使用的是Intel总线时序。

AD0~AD7是地址、数据复用线，跟标准的51单片机的P0口类似，在一个读写周期里的前后两个时间段分别是作为地址线或数据线。可以直接连接到AT89S52的P0口。

ALE为地址锁存信号，因为DS12887数据地址线采用分时复用的形式，所以需要ALE作地址锁存信号。在一个读写周期里AD0~AD7引脚上首先出现的信号表示地址，通过ALE的下降沿将该信号锁存到DS12887的地

址寄存器，稍后AD0~AD7引脚上出现的信号则表示写入或读出DS12887的数据。ALE可以直接连接至AT89S52的ALE引脚。

$\overline{\text{RD}}$、$\overline{\text{WR}}$是读写控制信号引脚，分别连接AT89S52的$\overline{\text{RD}}$（P3.7）、$\overline{\text{WR}}$（P3.6）引脚。

$\overline{\text{CS}}$为片选信号，为低电平时选中芯片，可以跟AT89S52的P2.7脚相连，这样就可以形成DS12887的读写基地址：0x0000。

$\overline{\text{IRQ}}$引脚为中断输出信号，当DS12887产生中断时，在$\overline{\text{IRQ}}$引脚输出有效低电平，该引脚为漏极开路输出，在外部需要加上拉电阻。

复位功能在本设计中不使用，$\overline{\text{RST}}$可以直接接高电平。

片内资源

看完了外面，进到里面看看。DS12887内部有10字节的时钟（时、分、秒）、闹钟（时、分、秒）和日历（年、月、日、星期）寄存器和4个控制寄存器以及114字节的通用RAM。地址分配如附表所示。

在本文的设计中只使用了前面14字节的时钟、闹钟、日历和控制寄存器，其余的114字节的RAM并未使用。采用了如图3所示的电路图后，片内的14字节的地址分配就是从0x0000～0x000D，在程序中可以像访问外部RAM一样方便地读取和写入数据至这些地址。

0x0000～0x0009是时钟、闹钟和日历寄存器，保留了时间信息等相关内容，单片机可以通过读取这些内容将时间信息显示出来。

寄存器A的BIT6～BIT5控制DS12887内部晶体振荡器的关断。

寄存器B控制各种中断的使能，在本文中需要将闹钟使能位（BIT5）打开，BIT2决定输出的时钟数据是十六进制或是BCD码，BIT1决定时间采用的格式：24小时或12小时制。

寄存器C保存了中断标志位，若在使用多种中断的情况下，微控制器可以通过读取该寄存器辨别是产生了何种中断，从而进入相应的处理程序。而在本设计中，只使用了闹钟中断，当在/IRQ引脚输出低电平时，就可以判断产生了闹钟时间到的中断。但是仍需要通过读取该寄存器以清楚中断标志，以免程序重复处理。

寄存器D是与器件是否有效相关的寄存器，本电路无需处理该寄存器。

硬件电路

电路使用4位一体共阴极数码管显示时钟、闹钟和日历信息，数码管采用CD4511作硬件译码，74LS06作动态选择和驱动电路。电路图如图3所示。

CD4511是一种用于数码管显示的译码芯片，在芯片输入引脚（D~A）输入4位二进制数值，在输出端（a~g）则译码输出共阴极数码管所需要显示的数值，例如在CD4511的D~A这4个引脚输入“0101”（十进制的“5”，D为最高有效位数据），则在输出端的a~g输出“1011011”。而且CD4511有个很有用的“消隐”功能，即当输入端D~A的值大于9时，输出端a~g呈现高阻态，从而在数码管表现为7段灯都会灭掉。

74LS06包含6个非门电路，本文只需要其中4路即可。在输入端置“1”，对应的输出端则为“0”，则选中其中一个数码管。比如在AT89S52的P1.4输入“1”，则74LS06的4A引脚为“1”，在其对应的输出脚4Y输出就为“0”，从而选中与s1相连的DS1数码管。在焊接电路板时，可以将CD4511和74LS06这两个芯片放在数码管下方，这样整个电路板就会小巧一些。

因为数码管只有4位，而且必须用其中的两位显示一项时间信息，所以每次只可以显示两项时间信息，例如DS1、DS2分别显示月份的十位、个位，DS3、DS4分别显示日期的十位、个位。但要显示的时间信息要多得多，所以采用“分时复用”的方法轮流显示时和分、月和日、年和星期，在时间分配上笔者使用了下述方案：在每一分钟中，0~9s、20~39s、50~59s的时间里显示时钟的时和分，在10~19s内显示月和日，在40~49s内显示年和星期，而时钟的秒数则不作显示处理。因为星期的最大数值为7（表示星期天），可以只在个位显示，星期分配的十位可以作“消隐”处理。设定的闹钟信息不是需要经常查看的，所以不做上述的分时显示，而是通过按下KEY4键查看。

电路图中的4个按键功能分配如下，KEY1：数值加1键；KEY2：数值减1键；KEY3：调节项目选择，当该键按下可以选择不同的调节项目，依次为时钟的时、时钟的分、月份、日期、年、星期、闹钟的时和闹钟的分。KEY4：选择显示时间（包括时、

附表 片内地址分配

地址	寄存器
0	秒
1	闹钟秒
2	分
3	闹钟分
4	时
5	闹钟时
6	星期
7	日期
8	月份
9	年
10	控制寄存器A
11	控制寄存器B
12	控制寄存器C
13	控制寄存器D
14～127	用户RAM

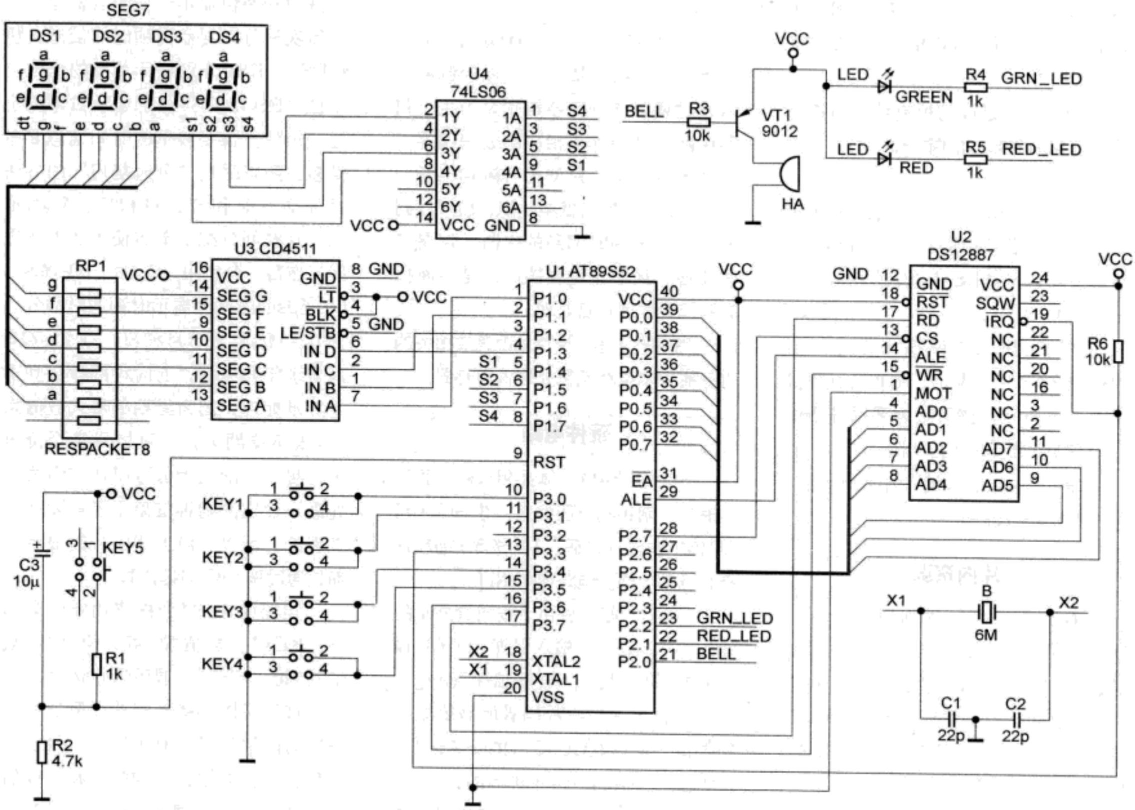


图3 电路图

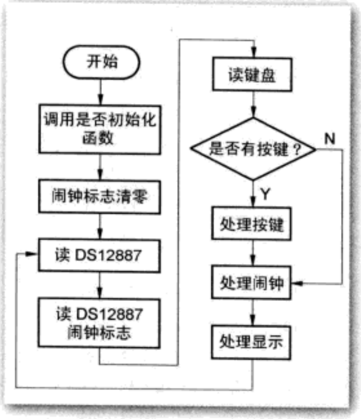


图4 主函数程序流程图

分、月、日、年和星期）或闹钟。

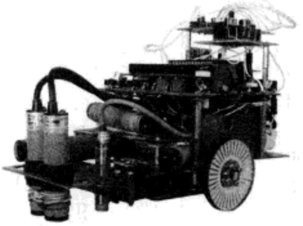
红色的LED闪亮表示数码管当前显示的是闹钟的时和分，绿色的LED闪亮表示当前显示的是时钟的时和分；而红色的LED闪亮和蜂鸣器发出声音，则表示闹钟所定格的时间到来，发出警报提醒；当两个LED都不闪亮时表示显示的为日历信息，即月、日、年和星期，可以通过DS3是否显示数据区分出显示的是月、日还是年、星期。

软件设计

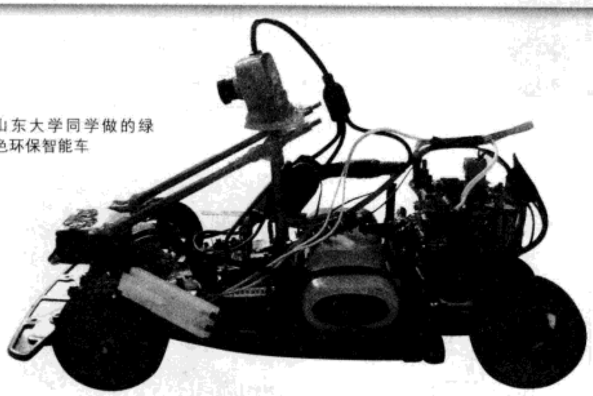
笔者使用的编译环境为Keil编译软件，采用C51编程语言。

整个程序由几个模块构成，文件mmi.c中包括一些人机交互处理的函数，比如读取按键、在数码管上显示时间信息、LED和蜂鸣器的发声处理等；文件ds12887.c中包括读写和初始化DS12887的函数；文件my52.c中包含延时函数；在文件main.c中则调用这些模块中的函数进行综合处理，主函数的程序流程图如图4所示。各个xxx.h文件中则是相应的xxx.c文件中的函数声明、全局变量声明等。

全部程序工程文件可到《无线电》杂志网站（www.radio.com.cn）上下载。



编者按：本刊上一期刊登了智能救援车的最小系统平台和避障、循迹、金属探测搬运等功能，这些都是单片机电路比较常规的功能，也是比赛中的基本部分，聪明的你如果觉得这些已经没什么挑战性，这期就继续看宋泽清老师为大家介绍的扩展部分的几项功能，包括语音功能、测量功能、无线发射接收功能等。同时我们还收集了其他几款智能小车的靓照，放在这里给大家展示一下，感兴趣的读者可以仿制。



山东大学同学做的绿色环保智能车

上海交通大学同学做的“速度之星”

让救援车学会说话

◎宋泽清

要使智能救援车学会说话，必须配置语音电路；为使智能救援车说话音质好、声音大，必须配置功放电路。

一、语音电路

1. 语音电路原理

智能救援车的语音电路采用美国ISD公司出品的优质单片语音录放集成电路ISD1420。ISD1420为美国ISD公司出品的优质单片语音录放集成电路，由振荡器、语音存储单元、前置放大器、自动增益控制电路、抗干扰滤波器、输出放大器组成。语音电路如图1所示。语音电路由U7（ISD1420）、发光二极管VD6、瓷片电容C1～C4、

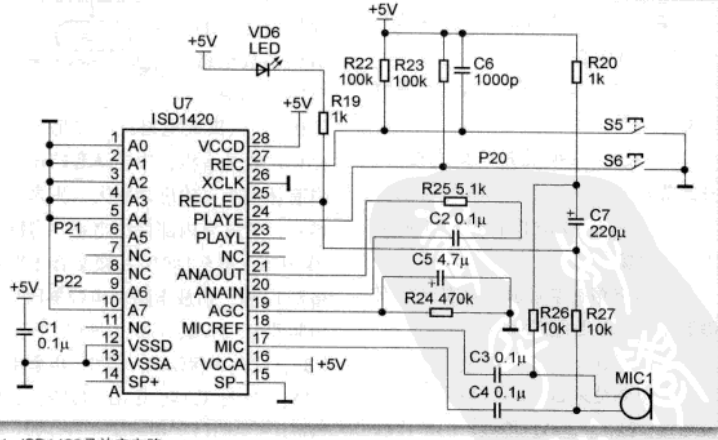


图1 ISD1420录放音电路

C6、电解电容C5、C7、电阻R19、R20、R22、R23、R24、R25、R26、R27、按键S5、S6、话筒MIC1组成。

语音电路实物如图2所示。

2. 调试

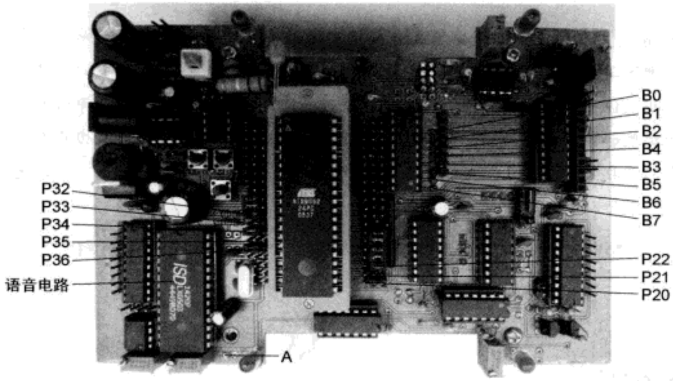


图2 主板电路

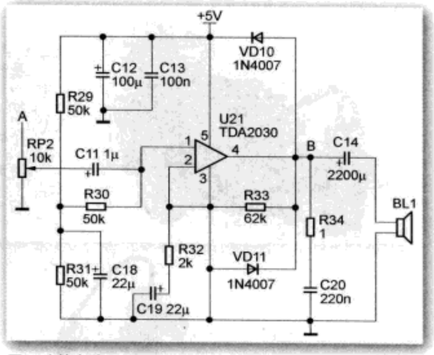


图3 功放电路

表1

地址状态								起始时间
A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	
0	0	0	0	0	0	0	0	第0秒开始
0	0	1	0	0	0	0	0	第4秒开始
0	1	0	0	0	0	0	0	第8秒开始
0	1	1	0	0	0	0	0	第12秒开始

注：1为高电平，0为低电平

ISD1420芯片通过8位并行地址线实现分段录放音，地址编码见表1。

（1）录音

在录音之前地址线A0～A7按照表1的地址状态接线，由录音键S5控制，分4段录音：

第1段0～4s内容是：小车演示开始，第一项避障

第2段4～8s内容是：到达B点开始循迹

第3段8～12s内容是：发现铁片，开始搬运

第4段12～20s内容是：任务结束，欢迎观赏

语音电路在录音时最好有一个安静的环境，保证录音的清晰。

（2）放音

在录制结束后，地址线A0～A7按照图1的接线方式进行接线。由单片机的P2.0控制放音，P2.1、P2.2按表1控制地址码，根据需要可分4段放音。

二、功放电路

1．功放电路原理

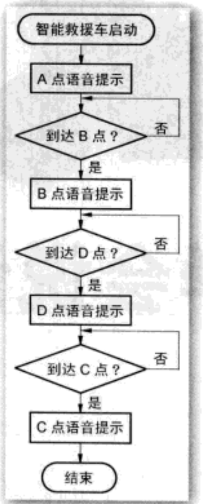


图5

为提高放音的效果，电路中的功率放大电路采用德律风根生产的音频功放电路TDA2030A，见图3。该集成电路广泛应用于汽车立体声收录音机、中功率音响设备，具有体积小、输出功率大、失真小等特点，并具有内部保护电路。电路如图2中A点接至IDS1420录放音电路放音脚14脚。功放电路由电位器RP2、电阻R29、R30、R31、R32、R33、R34、瓷片电容C13、C20、电解电容C11、C12、C14、C18、C19、二极管VD10、VD11、扬声器（8Ω2W）组成。功放电路实物如图4所示。

2. 调试

本功放板调试特别简单。

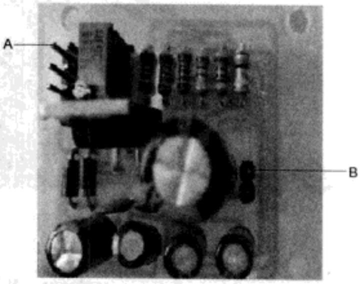


图4 功放电路实物

（1）焊好电子元件后，要仔细检查电路板有无焊错的地方，特别要注意有极性的电子零件，如电解电容、二极管。

（2）用万用表欧姆挡检测功放电路的输入、输出端有无短路，如无短路情况再接入5V电源。静态测试A点（见图4）正常电压50mV左右，B点（见图4）正常电压30mV左右，否则应立即断电检查电路板。若万用表的读数在正常的范围内，则表明该功放板功能基本正常，最后接上扬声器，输入音乐信号，上电试机，旋转音量电位器，音量大小应该有变化。

三、语音电路流程图

语音提示软件流程图见图5。源程序可到www.radio.com.cn上下载。

以上是语音及功放电路，照参数配元件焊接线路板，一般无需调试即可成功。

里程、角度、温度测量篇

◎宋泽清

智能救援车还具有里程、角度、温度测量的功能。

一、里程电路

1. 里程电路原理

里程电路见图1，由光电对管U13（RPR220型）、电阻R7和R8、施密特反相器U4B（74HC14）与光电编码盘组成见图2。

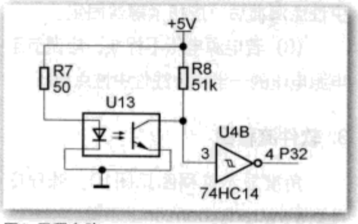


图1 里程电路

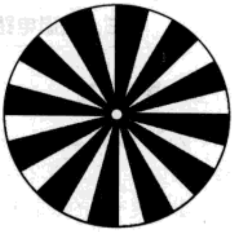


图2 光电码盘

光电码盘为24份黑白相间的圆盘，将其紧贴在车轮的内侧。单片机通过RPR220型光电对管对光电码盘进行检测，当检测到黑时输出高电平，当检测到白时输出低电平，再通过施密特反相器的整形规矩的方波，供单片机中断口P3.2口进行计数，单片机通过计算脉冲的个数就可以计算出智能救援车前进的里程。

计算方法：

车轮的直径为61mm，车轮的周长为：

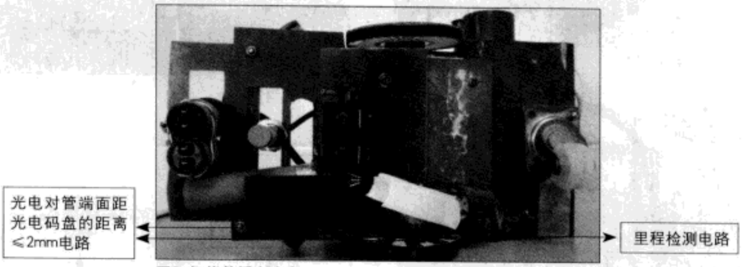


图3 智能救援车底盘

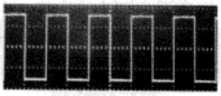


图4 示波器方波检测

$L=2\times\pi\times R=2\times3.14\times30.5=191.54\text{mm}$

光电码盘被平均分成了24份，每一份的弧长为：

$L1=L/24=191.54\text{mm}/24=7.98\text{mm}\approx8\text{mm}$

假设单片机检测到黑白信号的变化为n，则小车走过的路程为：

$S=2n\times8\text{mm}$

2. 调试

（1）RPR220型光电对管端面距光电码盘的距离≤2mm，如图3所示。

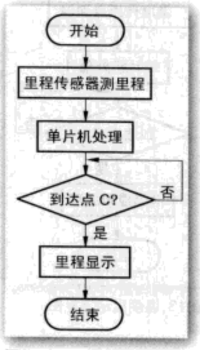


图5

（2）光电码盘转动时用示波器测P32的信号，应为标准的方波信号，如图4所示。

3. 软件流程图

里程显示流程图见图5。源程序可到www.radio.com.cn上下载。

二、角度测量电路

1. 角度测量电路原理

角度测量电路见图6，倾角传感器（U18）采用WQH36-45，其外形见图7，它是采用高性能磁敏感元件，利用重力摆结构，可无电接触点的测量倾斜角度。具有体积小、灵敏度高、寿命长、抗振动、耐环境污染（耐水，油和各种恶劣环境）等优点，特别适合用于运动频繁场合的水平姿态角度的测控和平面定位等工作场合。本智能救援车的角度测试场地见图8，为倾角为18°的坡道。说明：接线红接电源+，黑接

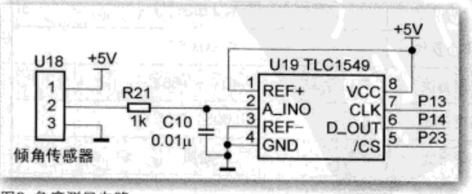


图6 角度测量电路

图7 角度传感器

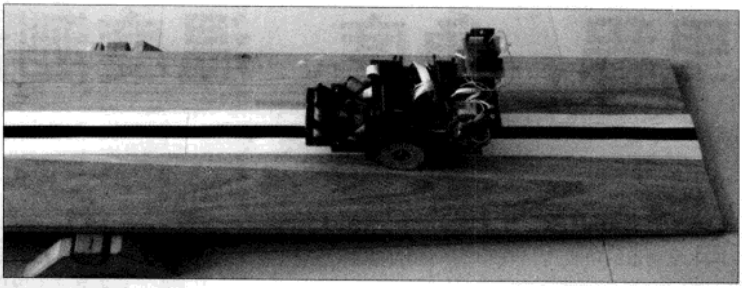


图8 角度测量场地

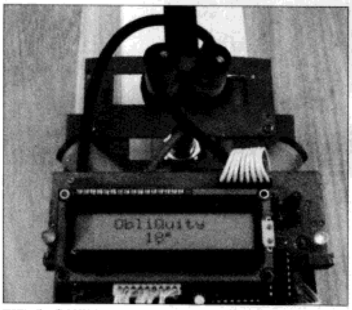


图9 角度测量

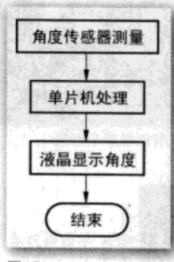


图10

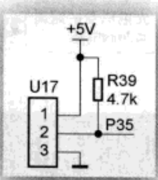


图11 测温电路

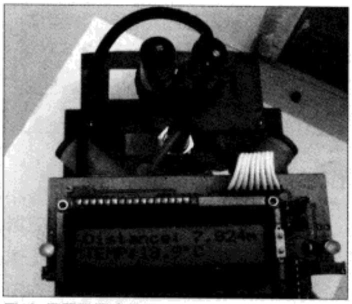


图12 里程及温度显示

地，黄线接信号输出参数见附表。

倾角传感器采集的角度信息经电阻R21传输给10位串行AD转换集成电路U19（TLC1549），经模数转换后供单片机处理，得到相应的角度，然后用液晶屏显示，如图9所示。

2. 调试

（1）WQH36-45 倾角传感器在装车之后应调整到倾角传感器的线性中性点，方法是加 5V 电压后轻微转动倾角传感器，用万用表直流电压挡测试AD 转换芯片 TLC1549 的 2 脚（即电压输入脚）电压为 2.5V。

（2）WQH36-45 倾角传感器线性中性点测准后，应扭紧螺丝固定。

（3）若电源电压不标准，应调节至电源电压的一半作为线性中性点电压。

3. 软件流程图

角度显示流程图见图10。源程序可到www.radio.com.cn上下载。

三、测温电路

1. 测温电路原理

测温电路见图11，用单总线温度传感器U17（DS18B20）测量环境温度，温度传感器的数据线接P3.5，用液晶显示当前温度值如图12所示。

有关DS18B20的电路原理，《无线电》上已有多篇文章介绍，这里不再赘述。

2. 调试

电路板焊好后仔细检查电路板测温传感器DS18B20的引脚有无焊错的地方即可。

3. 软件流程图

温度显示流程图见图13。源程序可到www.radio.com.cn上下载。

附表

型号	WQH36-45		
量程	±45°	±30°	±20°
独立线性度	1.5%	1.0%	0.5%
工作电压	典型工作电压：DC5V		最大电压：DC 8V 最小电压：DC3.8V
工作电流	≤20mA		
输出（V_{in}=5V）	约0.5V～4.5V（参考输出曲线）		
分辨率	≤±0.01°		
回零重复性	≤±0.05°		
使用温度	-40℃～+85℃		
温度系数	≤0.005°/10° C		
阻尼方式	硅油		
线形对称中点：1/2Vin ,(5V时2.5V)			

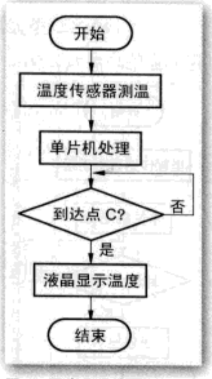


图13 温度显示流程图

无线发射、接收篇

◎宋泽清

无线发射接收电路在智能救援车上的应用极大地方便了对智能救援车的控制，电路包括无线发射、接收两部分电路。

一、无线发射电路（见图1）

1. 无线发射电路原理

无线发射电路见图1，集成电路U1采用PT2262。PT2262是台湾普诚公司生产的一种CMOS工艺制造的低功耗低价位通用编码电路，PT2262最多可有12位(A0～A11)三态地址端引脚(悬空，接高电平，接低电平)，任意组合可提供531441地址码。设置地址码的原则是：同一个系统地址码必须一致，不同的系统可以依靠不同的地址码加以区分。PT2262最多可有6位(D0～D5)数据端管脚,设定的地址码和数据码从17脚串行输出。

无线发射电路中J1、J2、J3用于地址编码，本电路中未编码。R1用于PT2262内部振荡电路，S1、S2、S3、S4、R3、R4、R5、R6组成数据发射键盘电路，本电路中只用到了键盘S1、R3组成的数据发射键盘电路，用于智能救援车的启动。电阻R28、发光二极管VD7组成发射指示电路，三极管VT1、电阻R2配合键盘控制电源只有在按键按下时才发射信号。发射头U2采用315MHz成品发射头。无线发射电路实物如图2所示。

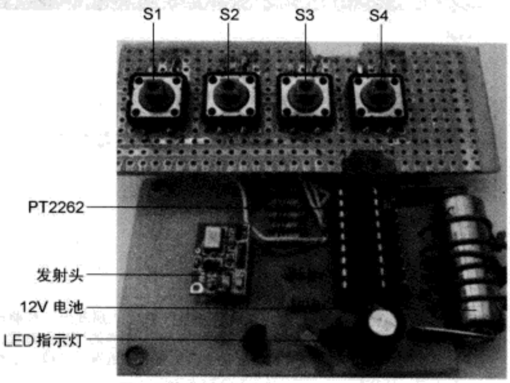


图2 无线发射电路实物

2. 调试

（1）本发射板调试简单，电路板电子元件焊好后，要仔细检查有无焊错的地方，特别要注意有极性的电子元件，如二极管、三极管、发射头。

（2）检查无误后通电，按下按键S1，指示灯VD7应亮。

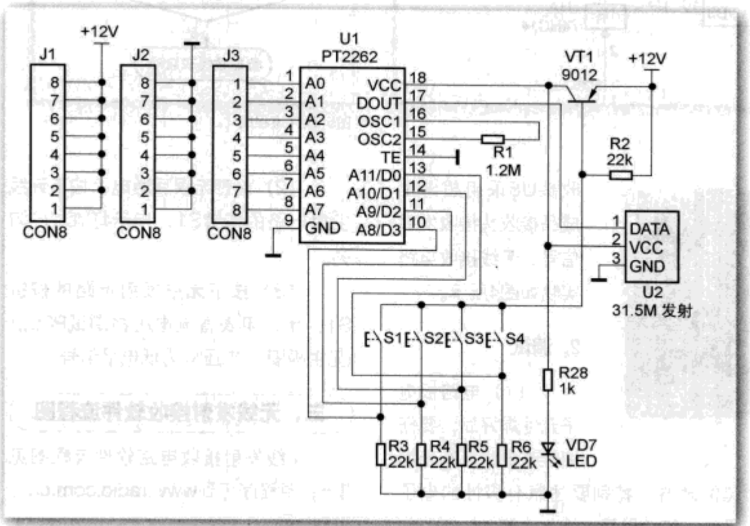


图1 无线发射

二、无线接收电路

1. 无线接收电路原理

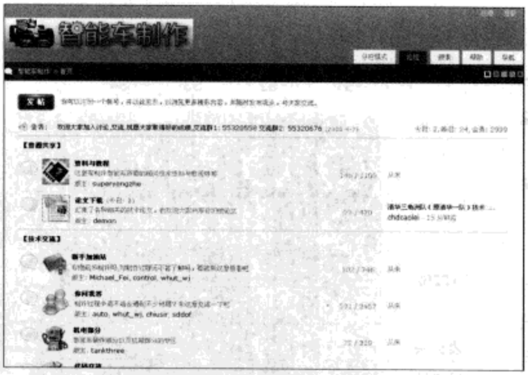
无线接收电路见图3，集成电路U3采用无锁存功能的PT2272-M4，PT2272-M4是台湾普诚公司生产的一种CMOS工艺制造的低功耗低价位通用编码电路，本身无锁存功能。PT2272-M4最多可有12位(A0～A11)三态地址端引脚（悬空,接高电平,接低电平）,任意组合可提供531441地址码，设定的地址码和数据码从14脚串行输出。

无线接收电路中J4、J5、J6用于地址编码，本电路中未编码。R9用于PT2272内部振荡电路，VD1、R10组成解码成功指示电路，本电路中只接收发射电路中键盘S1发射的信号，接收数据自PT2272-M4的13脚输出，然后

值得一看的智能车网站

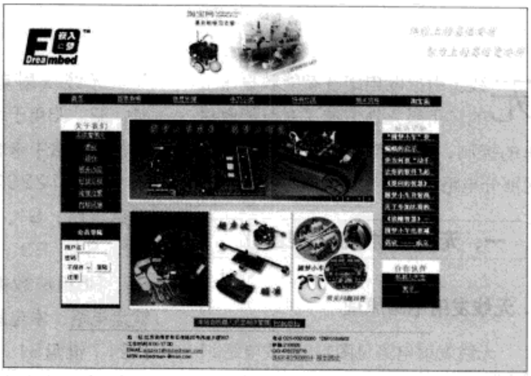
◎资料室

智能车制作：www.znczz.com



你刚起步制作智能车吗？对制作过程还不甚了解吗？那就到“智能车制作”看看吧。这里有“新手加油站”，提供智能车制作的资料和教程，还开辟有“比赛信息”报道全国大学生智能汽车竞赛的近况，并收录了精彩的智能车图片和视频。

嵌入之梦：www.embedream.com



这是一名从事嵌入式应用多年的电子工程师创办的智能车和机器人制作网站，站长有较强的教育理念，希望通过主打作品“圆梦小车”创建一个学习计算机编程的智力游戏平台。除了智能车，网站的“好书交流”栏目介绍了很多编程和教育名著，值得一看。

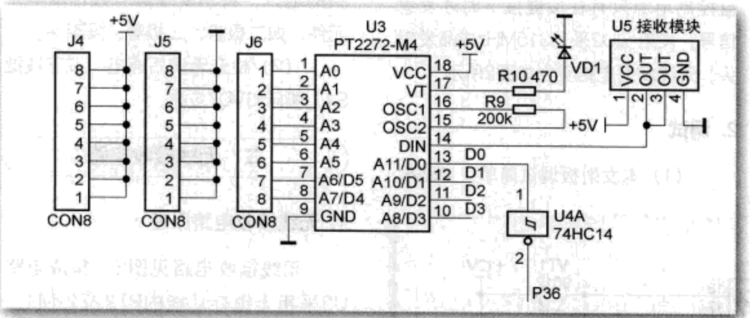


图3 无线接收电路

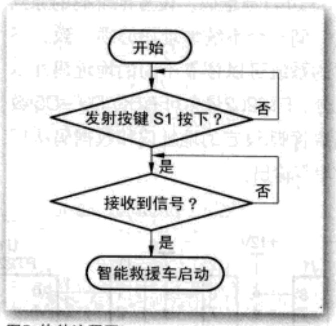


图5 软件流程图

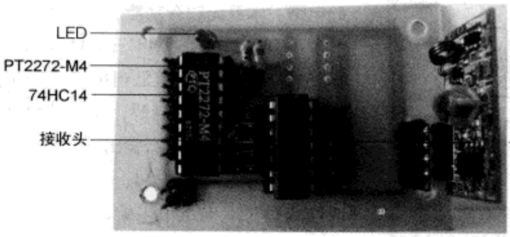


图4 无线接收电路实物

经施密特集成电路U4A倒相，目的是获得低电平信号供单片机P3.6口采集。接收头U5采用超再生成品接收头接收发射信号。无线接收电路实物如图4所示。

2. 调试

（1）电路板电子元件焊好后，要仔细检查电路板有无焊错的地方，特别要注意有极性的电子零件，如二极管、接收头等。

（2）检查无误后通电，按下无线发射电路的按键S1，指示灯VD1应闪亮。

（3）按下无线发射电路的按键S1，用万用表直流电压挡测试P36点(见主板图)，电压应为低电平信号。

三、无线发射接收软件流程图

无线发射接收电路软件流程图见图5。源程序可到www.radio.com.cn上下载。

简单程序打造“山寨”版机器手

◎余俊杰

如今，进入网络世界，君便可见满山遍野都是“山寨”，在这个“山寨文化”蓬勃兴起的年代，很多人都对这个新生事物充满着好奇心，跃跃欲试。本人亦不例外，也想来“山寨”一下。要“山寨”一件什么东西好呢？想了N久，想不出来，恰好，本人正学了单片机和C语言不久，就用C语言编个“山寨”程序吧，刚好自己又是个机器人迷，就拿定主意给单片机编个简单的程序，做个“山寨”版的机器手吧。

机器手的硬件平台与电路原理

做“山寨”版的机器手，只在纸上谈兵或者在仿真软件里仿真是不行的，必须让它“活”起来。首先，需要构筑一个硬件平台，用什么芯片好呢？51？PIC？AVR？ARM？呵呵，也许有人已经猜到了，对！就是用51芯片，对于一个初学者来说，51芯片最合适不过了。具体型号就用AT89C2051，这个芯片对于许多高手、大侠来说，简直是小菜一碟，里边的资源已经是“隔夜的”了，对于像我这样的菜鸟，就找本基础的书慢

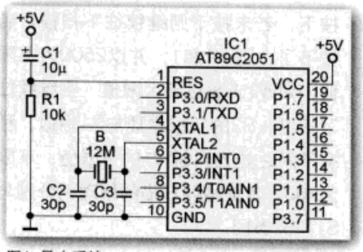


图1 最小系统

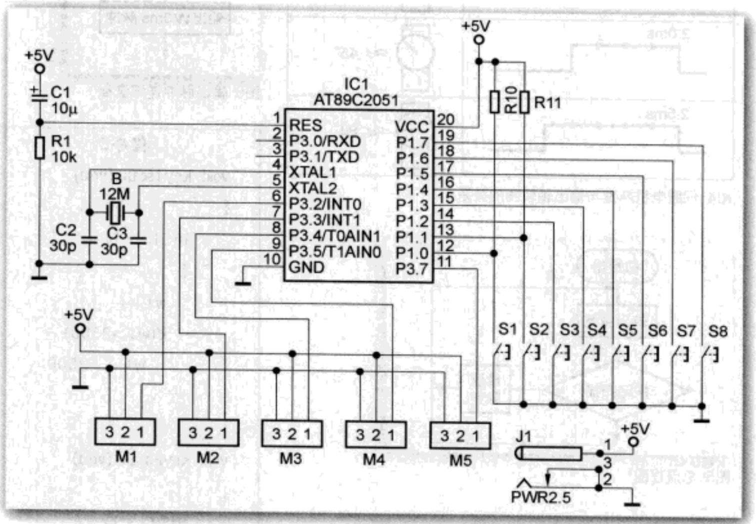


图2 电路原理图

慢“刨”吧。“刨”完书，你就会发现很多单片机硬件设计都脱离不了如图1所示的最小系统。

本“机器手”也不例外，只是在外围添加了少许元件而已，如图2所示。图中MCU的P1和P3口除了P1.0、P1.1和P3.0外，内部均有上拉电阻，P1口全部用作独立式按键接口，由于P1.0和P1.1比较特殊，是AT89C2051内置模拟比较器的同相输入端（AIN0）和反相输入端（AIN1），内部没有上拉电阻，故需在外部接入上拉电阻，阻值选用常用的10kΩ就可以了。P3口的P3.6没有引出，而是作为比较器的输出，故不能像普通的I/O口那样访问引脚，P3.2~P3.5、P3.7则接伺服电机。

接着，还是来介绍一下我们机

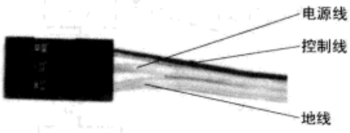


图3 杜帮头连接线

器手的另一个重要元件吧，这就是伺服电机，它在航模界中被广泛使用，亦称为“舵机”，是一种PWM控制部件。当它收到一串指定角度的“指令”时，其输出轴就会转动到指定的角度上。伺服电机跟其他电机不太一样，输入线不像直流电机那样只有2根，也不像步进电机（两相式）那样有6根，它有自己的特色，只有3根，引线末端使用杜邦头，如图3所示。

图3中的杜邦头引线由上至下，红色的是控制线（脉冲输入线），接到主控芯片上；中间的是电源线正

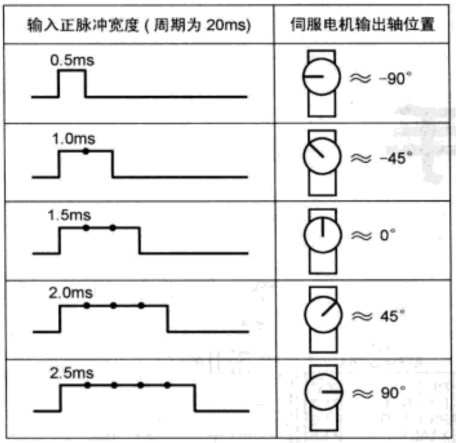


图4 伺服电机脉宽与输出轴转角的关系

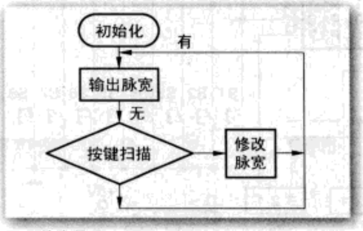


图5 总流程图

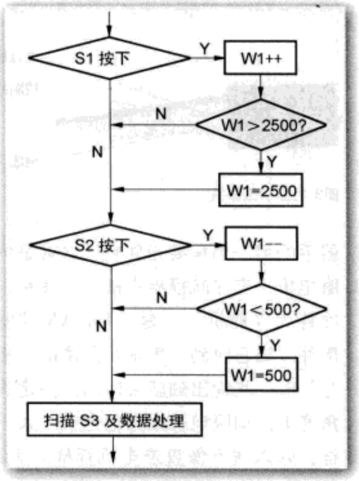


图7 按键扫描子程序流程图

极，第三条是地线（即电源负极），供电电压一般是4 ~6V。伺服电机是一个PWM控制部件，在其控制线上输入一个周期性的脉冲信号，这个周期性脉冲信号的高电平时间通常在0.5 ~2.0ms，而周期在5 ~20ms，要求并不十分严格，如图4所示，图中表格给出了一个典型的20ms周期性脉冲的脉冲宽度与伺服电机输出轴旋转角度之间的对应关系。

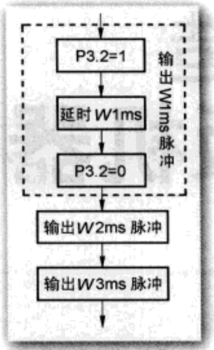


图6 输出脉冲详细流程

程序2

```
void key1scan (void)
{
    if(S1==1)
    {
      w1++ ;
      if(w1>2500)
        w1 = 2500 ;
    }
}
void key2scan (void)
{
    if(S2==1)
    {
      w1-- ;
      if(w1<500)
        w1 = 500 ;
    }
}
```

根据表格中的数据可总结出一条输出轴角度*D*和脉冲宽度*T*的转换关系式：

$D=90T-135\ (T\in[0.5,\ 2.5])$

有了这个公式，我们就可以很方便地将转角角度与脉宽互相转换，计

程序1

```
void servout1 (void)
{
    P3_2 = 1 ;  //P3.2输出高电平
    Delay_ms(W1) ;  //延时W1 (ms) ，即是脉冲宽度为W1 (ms)
    P3_2 = 0 ;  //P3.2输出低电平
}
```

算出初始化等所需要的脉冲宽度。

程序的编写

作为一个初学者，对于单片机内部的资源往往理解不深，故程序写得不好，还请各位高手们手下留情，多多包涵。机器手程序的总流程图如图5所示。程序初始化后，就执行输出脉宽，接着进行按键扫描，完毕后又返回输出脉宽，循环不止。

图6是输出脉宽到每个伺服电机程序的详细流程图，W1、W2、W3、W4、W5是5个脉冲宽度，按顺序分时地从P3.2～P3.5、P3.7引脚向5个伺服电机输出。例如要在P3.2输出一个宽度为*W1*（ms）的脉冲，如程序1所示。

程序中Delay_ms(W1)是一个以延时1ms为单位的函数，需要延时多少毫秒只需在括号内填入对应的数字即可（该函数的程序很简单，不再列出）。

图7是按键扫描子程序流程图。为了说明原理和排版简洁，图中S1和S2扫描判断原理采用详细流程，而对S3～S8则使用简化框图。进入此流程，首先以一个判断语句判断S1是否按下，若未按下则继续往下扫描，若按下了，则W1加1，并以2500为上限值，如W1未超过该上限值，则继续往下扫描，S2的扫描原理与S1相似，稍有不同之处是判断W1的下限值，下限为500。其他按键扫描的原理则分别与S1和S2类同。

程序2所示是扫描S1和S2的程序

代码。

读完代码，大家是否觉得按键扫描部分是不是少了点什么东西？呵呵，对了，就是没有延时去抖。刚开始自己也觉得奇怪，没有消抖程序怎么能正确识别出按键呢？后来，请教了其他高手之后才知道，由于程序简短，整体循环周期短，按键按下后，若第一次没扫到，后一周期还可以扫到，即使受到抖动干扰，由于Wn的数据变化量很小，对伺服电机转角的改变影响并不大，故消抖程序可以省去。

此时或许有人提出：是否可以插入扫描按键释放的代码？关于这个问题，本人也曾作过尝试，发现在代码中插入释放判别后，当按键的按放次数很少时，伺服电机是看不出有转动迹象的，只在按放次数达几十次时才有比较明显的效果，这样操作者会感觉很累，原因是伺服电机转角参数*Wn*的范围是在500～2500。鉴于此，我就试着将*Wn*的增幅加大一点，于是伺服电机达到了比较明显的旋转效果，但旋转精度却会大打折扣，故程序中未插入扫描按键释放的代码。

程序通过仿真后，就可以动手制作硬件电路了。

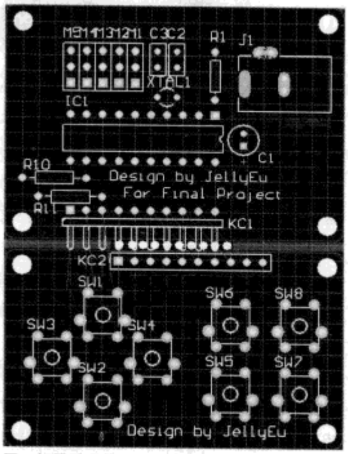
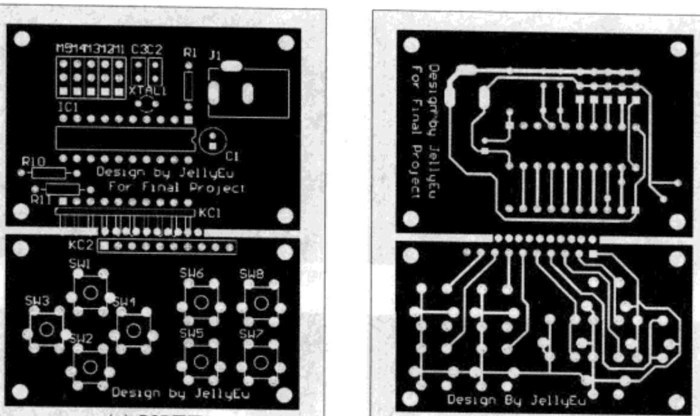


图8 机器手硬件PCB设计图



(a) PCB正面 (b) PCB反面

图9 PCB3D仿真的正反两面

PCB电路板的设计与制作

图8所示是在DXP2004 SP2 下设计的PCB，图中，已将按键从主板中独立出来，两块板使用10针排线互联，这样就可以很方便地操作机械手。图9（a）和图9（b）是PCB3D仿真的正反两面图。

由于电路很简单，我们可以直接用“洞洞板”焊接，按图纸施工，不需半小时便可完成，注意把按键接线引出，接到控制手柄上。本人找了只废旧的PS2游戏手柄改装代用，只需用到其中的8个按钮，其余的可以去掉。这样既看起来美观又用起来方便，如图10所示。

完成后，用万用表检查无误，把程序“灌”入芯片即可。至此，“山寨版”机器手的软硬件部分都完成了，接着就可以着手加工机械零件了。

机械部分的制作与调整

机械部分零件大部分采用2mm厚的黑色广告用塑料板制作，为了提高板材的机械强度，采取了双板粘合的办法（粘合剂为氯仿），经粘合后的板材，强度大大增强，估计可达单层的4～6倍，为整机安全工作提供了足够的保

图10

证。为了减少零部件并减轻机器上部重量，直接使用螺栓将伺服电机和板材进行组合，省去了伺服电机自带的舵臂。这样既降低了重心，增大了稳定度，又减轻了伺服电机的负载。

以伸缩臂与伺服电机组合为例，简单介绍一下组合方法吧。首先，用卡尺（最好用电子卡尺或带表卡尺，精确度高些）量出伺服电机输出轴外径ϕa和内径ϕb，然后在单层侧板上合适的位置，按ϕa尺寸稍小开一圆孔，使转轴穿过圆孔时，紧凑为宜。注意，侧板两头应各开一孔，留一边待用，取另一未开孔单层侧板B，在与A侧板相同位置上以ϕb稍大开孔，再将A、B侧板用氯仿粘合，待干后，一块具有较高强度的新侧板C就诞生了。再根据需要在侧板中部打若干个组装孔，取一颗M3螺丝穿过侧板ϕb孔把

图11 右旋

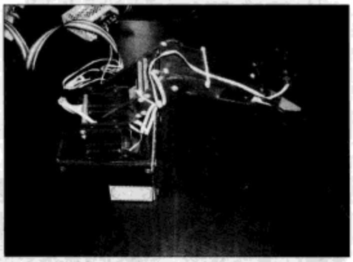


图12 前探

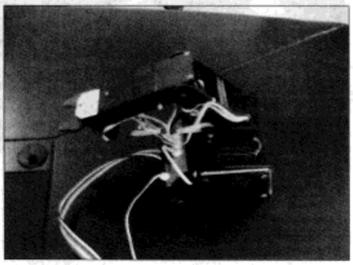


图13 后翻

伺服电机输出轴暂时固定，再往侧板φa孔中注入适量有机溶剂，使孔壁软化，收紧M3螺丝，使输出轴与侧板完全配合，孔壁硬化后形成齿状内壁，恰好与输出轴紧密接触，使侧板能随轴转动。侧板的另一头也用相同的方法，连接另一伺服电机。取另一个已组装单个伺服电机的侧板，用合适长度的铜柱和若干M3螺丝将两侧板组装成臂体，组装时注意同端的两个伺服电机转角一致。拧紧螺丝，臂体就完成了。

该机器手的其中一个伺服电机需要使用双输出轴，而一般伺服电机底部均无输出轴，所以必须给它定造一个“义轴”，要求与原输出轴同心。

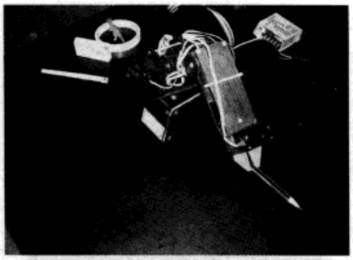


图14 搬运夹持的铅笔

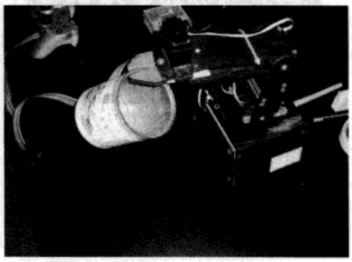


图15 搬运中的铁皮罐

截取一块与伺服电机底部同等大小的双层塑料板D，在适当位置钻孔，注意D板贴上伺服电机底部时孔要与输出轴同心，在任意一面上将孔扩大（切不可整孔都扩），深度只需2mm左右，用于藏入一个M3螺母，扩孔毕，取一个螺母和长5mm的带螺纹铜柱，拧紧，“义轴”便做成了。

采用相似的方法完成各部件后，便可组装成整体了。组装完成以后，还需作最后的整机测试，若伺服电机初始化值和上下限值不适合，可以按实际调试修改。确定后，将修改完的源代码编译成bin或Hex文件，下载到AT89C2051中。再找个合适的电源适配器给它供电，至此，“山寨版”的机器手工程顺利竣工。图11为完全手工制作的“山寨版”机器手外形。

功能测试

机器完成后，本人做了些简易的测试，主要是回旋范围和夹持搬运不同物品的性能。

1. 回旋范围测试

图11测试左右旋转范围，图12、图13是测试前后伸展距离。

2. 夹持不同物品搬运测试

图14是搬运铅笔测试，图15是搬运中的铁皮罐。

写在后面的话

我刚开始设计这个机器手时是仿照国外的5个自由度的，后来因采购的伺服电机的输出力矩不足（需要使用大力矩的金属齿轮伺服电机），而改为4个自由度，在图11中能看到有些“改造”的痕迹。制作机械部分时也尝试过使用亚克力板材，由于条件所限，加工设备只有手锯、锉刀和一把电钻，加工起来效果不佳，最后只好放弃了亚克力，改用了现在所用的普通塑料板。另外，程序设计时，编写了两个方案，一个见上文，另一个方案见源代码，可到**www.radio.com.cn**上下载，其原理也不复杂，请有兴趣的读者可自行分析。

◇作者简介

我叫余俊杰，一个刚毕业的普通大学生。在同龄人中，我似乎有些“另类”：不善言谈，甚至有些木讷，但却始终以“开心建设”为中心，坚持“以玩为主，以学为辅”的方针，建设有自己特色的“开心主义”。

我爱玩，但却不沉迷于网游，挥金如土，我爱动手，坚持以自我制作为主，既喜欢DIY，更崇尚“这是我的作品”的理念。

我有我的地盘，我喜欢电子制作，编写程序，硬件摩丁，更喜欢与兴趣相投之士结友，相互交流，共同进步。欢迎与我联系：Jellyeu@hotmail.com。

机动车尾号限行提示器

◎刘世泉

机动车“尾号限行”的轮号使不少记性不佳的有车族被限行日期搞得有点晕。特别是那些家里有不止一辆车的人，要分别记住两辆车两天限行且对号入座，说起来容易，但做起来真的有一点点难度。本文介绍一种机动车尾号限行控制器，可以解决司机们的上述烦恼。

一、电路组成及原理

该控制器电路见图1，它由输入电路、日期产生电路、LCD显示电路、输出控制电路、单片机和电源组成。自己的车牌尾号由DIP开关S1输入到DS1302芯片中保存，当司机发动汽车时，控制器将自动与限行的车牌号对比，若当天是限行日，则在液晶屏幕上显示提示信息，同时切断启动电机开关线，使汽车不能启动；若当天不是限行日，则汽车即可正常使用。

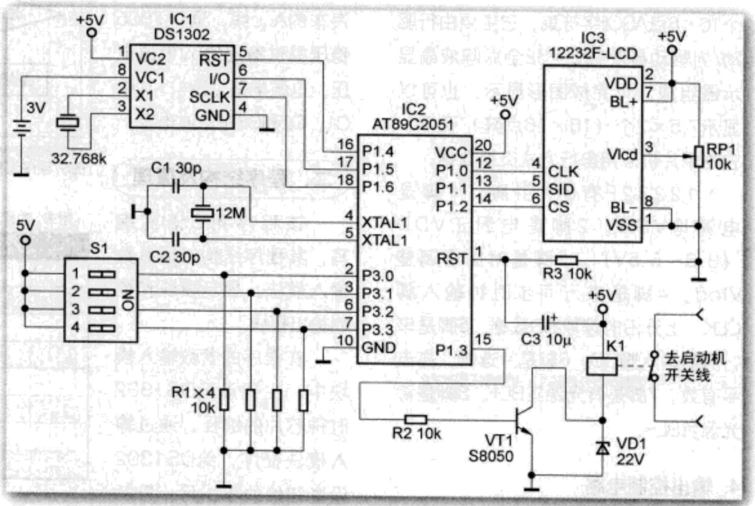


图1 机动车尾号限行控制器电路

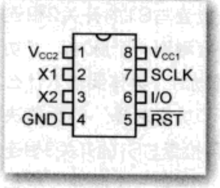


图3 DS1302引脚图

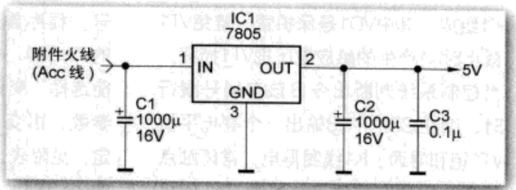


图4 电源电路

1. 输入电路

由于车牌尾号和日期、时间不需要经常输入，所以输入电路采用了DIP开关S1 和4个10kΩ电阻组成键盘电路，DIP开关如图2所示，其优点是体积小、可靠性高。S1中的开关1是限行选择开关，当它处于OFF位置时，取消限行管制，该控制器不起作用。只有当它处于ON位置时，机动车尾号限行控制器才起作用。开关2是功能选择开关，可以选择不同的输入功能。开关3是数字“加”键，开关4是数字“减”键。通过2、3、4开关的配合使用可设置控制器的初始年、月、日、时、分、秒和自己的车牌尾号。

图2 DIP开关

2. 日期产生电路

日期产生电路的芯片型号是DS1302，其引脚图见图3 。它是一种高性能低功耗时钟芯片,包括实时时钟/日历和31 字节的静态RAM，可实时地对秒、分、时、日、周、月以及闰年进行计数处理。31字节的高速RAM通过外接充电电池可长期保存数据。正常工作时DS1302芯片还能慢速为电池充电。它能在2.5~5.5V 电源下可靠工作，在2.5V时耗电小于300nA。在主电源关闭的情况下，能保持时钟的连续运行。

DS1302芯片有8个引脚，2、3脚X1、X2是晶体引脚，晶体的频率是32.768kHz 。

1脚是主电源引脚VCC2，8脚是备用电源引脚VCC1，当VCC2小于VCC1电压0.2V以下时，VCC1给DS1302芯片供

电。5脚是复位引脚，RST低电平有效。7脚是串行时钟引脚SCLK。6脚是串行数据输入/输出脚I/O，它和SCLK配合与单片机交换数据。4脚是电源地。

3. LCD显示电路

LCD显示电路采用的是12232F，它内置了8192个16×16点汉字和128个16×8点ASCII字符集。它主要由行驱动/列驱动器及128×32全点阵液晶显示器组成。可完成图形显示，也可以显示7.5×2个（16×16点阵）汉字。它与单片机采用串行方式交换数据。

12232F有8个引脚，1脚是电源地VSS。2脚是电源正VDD（3.0～5.5V）。3脚是对比度调整Vlcd。4脚是串行同步时钟输入脚CLK，上升沿时读取SID数据。5脚是串行数据输入脚SID。6脚是片选脚，高电平有效。7脚是背光源正BL+。8脚是背光源负BL-。

4. 输出控制电路

输出控制电路由R2、VT1、VD1、K1组成。其中VD1是保护管，避免VT1截止时K1产生的感应电压把VT1损坏。当控制系统判断出今日该车尾号限行时，则在IC2的P1.3输出一个高电平使VT1饱和导通，K1线圈得电，常闭触点断开，机动车启动开关线断开，使机动车不能发动。同时在LCD显示屏上显示“今日不能开车”的信息提醒司机注意。

5. 单片机和电源

为了便于大家制作，本控制器选用AT89C2051为控制核心。由于它内部程序存储器为Flash，所以修改内部程序十分方便快捷，只要配备一个可以编程89C2051的编程器即可。调试人员可以采用程序编辑、编译、固化和插到电路板中试验这样反复循环的方法，对大多数人来说，这种调试方法并不困难。

AT89C2051是20引脚的与8051兼容的8位高性能单片机。图1中C1、C2、晶体与单片机内部电路组成了时钟电路。C3、R3构成了上电复位电路。

本控制器的电源取自汽车的Acc线，通过7805稳压提供稳定的5V电源电压。电源电路见图4，其中C1、C2和C3是滤波电容。

二、程序结构及原理

该程序用C语言编写，其程序结构包括参数输入模块、显示模块和控制输出模块。

在程序的参数输入模块中，主要涉及DS1302时钟芯片的编程。通过输入模块程序，给DS1302设置初始的年、月、日及时间的初值，然后输入自己的车牌尾号。程序首先检查与S1的开关2相连的P3.1脚，每检测到一个脉冲，“功能选择”变量值加1。具体要输入什么参数，由变量“功能选择”的数值决定，见附表。再检查与S1的开关3相连的P3.2脚，每检测到一个脉冲，给相应的变量加1。例如“功能选择”变量=7，表示要输入车牌尾号。P3.2脚每得到一个脉冲，车牌尾号变量加1。与S1的开关3相连的P3.3脚，每输入一个脉冲，给相应的变量减1。

显示模块主要涉及对12232F芯片进行编程，包括液晶屏初始化部分程序和写命令和数据到12232F芯片的程序。其中液晶屏初始化部分程序放在总程序的初始化部分。由于12232F芯片本身内置8192个16×16点汉字库和128个16×8点ASCII字符集图形点阵库，所以对它的编程比较简单。

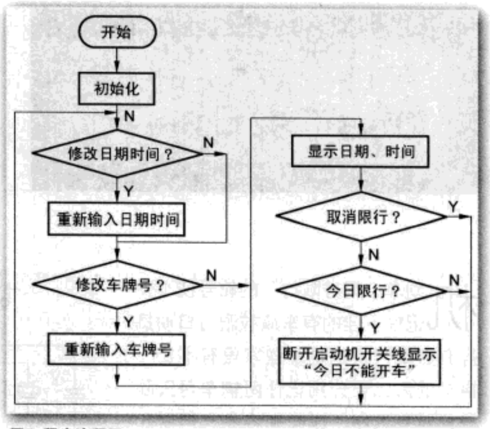


图5 程序流程图

附表 功能键说明

“功能选择”变量值	功能说明
0	正常显示日期、时间
1	输入年
2	输入月
3	输入日
4	输入时
5	输入分
6	输入秒
7	输入车牌尾号

在控制输出模块程序中，首先检测P3.0脚，它与S1的开关1相连，当P3.0=0时表示取消限行管制，使P1.3脚输出为“0”，三极管VT1截止，继电器K1不动作，K1的常闭触点处于闭合状态，汽车启动机开关线接通，司机可以启动汽车行驶。当P3.0=1时，表示要进行限行管制，此时程序从DS1302芯片中取出当天日期，并计算出当日限行号码，与该车尾号进行比对，如果相同则使P1.3=1，三极管VT1饱和导通，继电器K1吸合，K1的常闭触点断开，机动车启动开关线断开，司机不能启动汽车行驶，同时在LCD屏上显示“今日不能开车”的信息提醒司机注意。如果不同则使P1.3=0，三极管VT1截止，继电器K1不动作，K1的常闭触点处于闭合状态，汽车启动开关线接通，司机可以启动汽车行驶。

数码管和点阵LED的动态扫描方法

◎何海滨

单片机在显示时，往往要用到动态扫描，比如共阳或共阴数码管显示，8×8点阵显示等。但是有实时操作，比如有键盘扫描时，动态显示扫描占用了大量的CPU时间，从而耽误了实时检测。或者键盘延时操作时，显示有闪烁的现象，如何解决这一问题呢？如果把主程序这条流程线和动态显示扫描流程线分开考虑，则可以很好地解决这一难题。主程序中进行实时键盘扫描，用定时器作动态显示扫描，两条线分开处理，互不干扰，相得益彰。

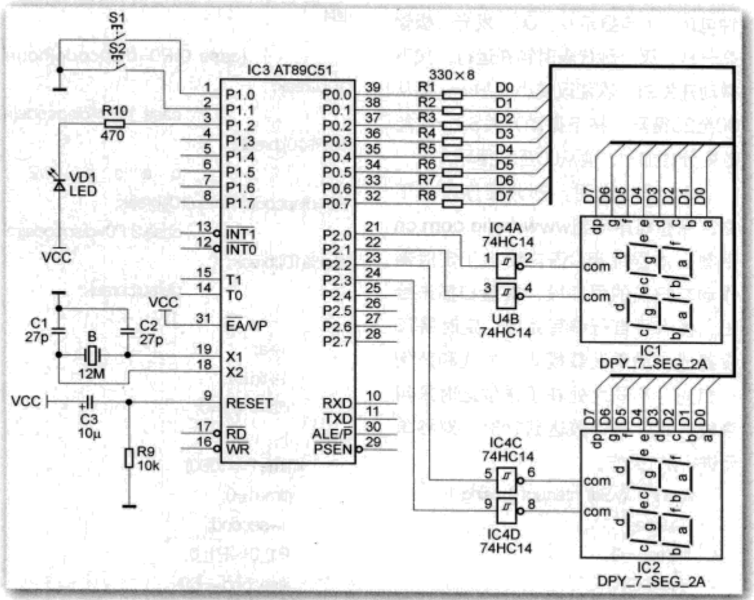


图2

范例一：99s可预设定时器

1. 电原理图（见图1）

2. 要求如下

(1) 使用 89C51 单片机，实现 0 ~ 99s 倒计时 / 定时电路。其中 VCC 使用 + 5V 外接电源。

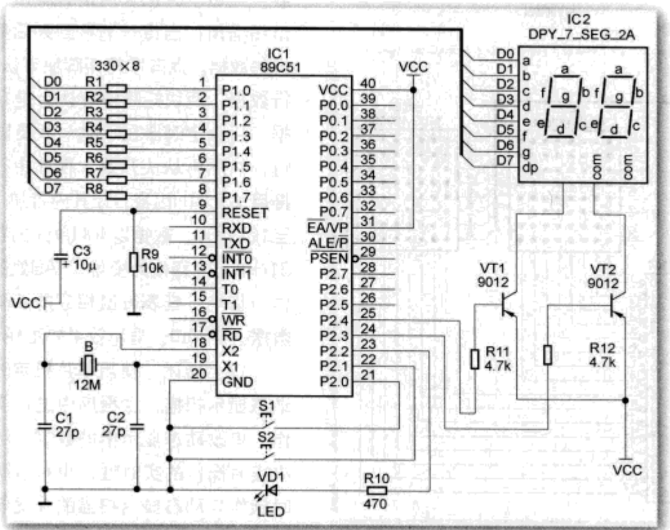


图1

(2) 按键 S1，每按一次可加 1 预设计时 / 定时时间，按键 S2 为启动键，启动后采用倒计时方式运行，当运行到零后指示灯以亮半秒、灭半秒的方式工作。

(3) 当运行到零，以指示灯方式工作后，按键 S1，可取消，并且加 1 预设时间。

3. 程序说明

源程序可到**www.radio.com.cn**上下载。从上例源程序中可以看出，定时器T0作为动态显示扫描中断子程序，定时器T0设置为自动重装载模式，初值为6，计250次后产生中断，如晶体采用12MHz，则4次中断后的时

间为1ms,可以显示一个数码管，等下一个1ms时间到后，再显示下一个数码管。而在主程序中则完成键盘扫描以及扫描后的设置。

范例二：数字钟电路

1．电原理图（见图2）

2．功能说明：本电路是一种数字钟电路，上电显示12：00，发光二极管亮一秒、灭一秒代表时钟在运行。按下微动开关S1一次能改变小时加一，能从00至23循环。按下微动开关S2一次能改变分钟加一，能从00至59循环。

3．程序说明：部分程序段见下文，完整程序可到**www.radio.com.cn**下载。本程序用C语言给出了定时器作动态扫描的程序段，键盘扫描未给出，读者可自行编写完成。定时器T0设置成自动重装载模式，方式和范例一相同，不同之处在于送位选时采用查表方式，当计数达到1s时，对秒单元进行加1操作。

```
void intt0(void) interrupt 1 using 1
{++time;
 if(time==4)
  {time=0;
   P2=disp[a];
   switch(a)
      {case 0:P0=dispcode[hour/10];break;
       case 1:P0=dispcode[hour%10];break;
       case 2:P0=dispcode[minter/10];break;
       case 3:P0=dispcode[minter%10];break;
       default:break;
      }
   ++a;
   ++time1;
   if(a==4) a=0;
   }
  if(time1==1000)
   {time1=0;
    ++second;
    P1_0=~P1_0;
    if(second==60)
     {second=0;
      ++minter;
      if(minter==60)
       {minter=0;
        ++hour;
        if(hour==24) hour=0;
       }
     }
   }
}
```

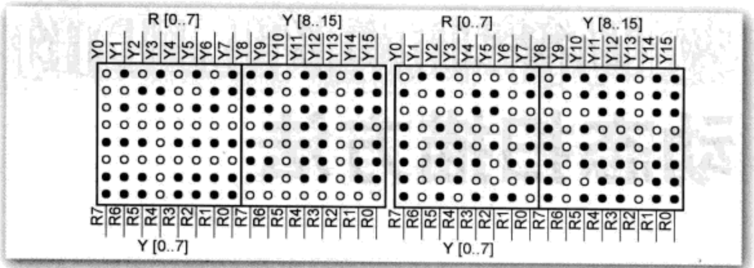


图4

范例三：8×16点阵LED显示器电路

1．电原理图（见图3）

2．功能介绍：初始状态显示毕业、设计。翻页时间约为1s。按S1可回到初始状态，按S2显示上移毕业、设计。

3．程序介绍：源程序采用汇编语言编写，可到**www.radio.com.cn**下载。在显示时也采用定时器T1作为显示扫描用，当每一毫秒到来后显示一行的数据。点阵字符矩阵块可认为是8行数据，两块矩阵块可认为是16行数据，所以定时器显示时一共要显示16行，然后再从头开始。程序中行选直接用单元31H内容，让其内容加一，直至16后归0。数据以40H单元内容加上31H单元内容作为变址，TAB处的地址作为基址，查表得出相应的点阵字符数据送至P0口。显示效果如图4所示。

综上所述，使用单片机定时器作动态显示扫描，主程序中进行实时操作，更改动态显示中的数据，可以解决实时操作的实时性，也可以防止实时操作与动态显示扫描的互扰问题。不失为一种动态显示的最佳办法。

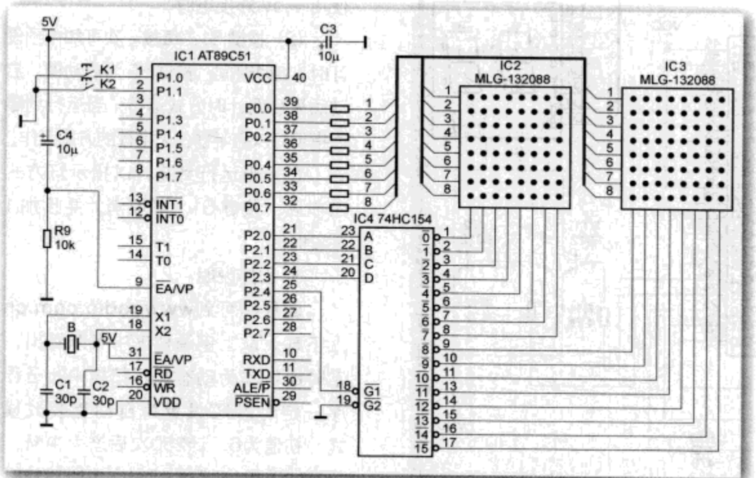


图3

可编程定时放音电子礼物

◎杨德富

本文将要介绍的是一款设计巧妙的可编程定时放音电子礼物。经本人自己和几个朋友试用效果理想，特别适合于需要带给对方惊喜的场合。如某些节日当天不方便送礼物，准备提前送礼物给对方，但又不想告诉对方这是将来的节日礼物时，就需要装这样一个电路在里面，等设定的时间到了，录制的语音就自动把你想说的话告诉对方，定会带给对方无限的惊喜。由于本电子礼物电路简单，元件易买，成本低，使用方便可靠，功耗极低，也可以作为单片机初学者的练手项目，为此拿来和大家一起分享。其实本制作不仅仅是一个定时放音电子礼物，原电路不做任何修改就可以当做长时间的日期定时器，带闹钟和液晶显示功能电子钟，电子语音留言器等。

设计中，语音录放与存储选用ISD1110，当采样频率为6.4kHz时可以存储10s的语音信息。因为ISD1110采用FLASH存储语音数据，所以语音数据可以反复修改，且掉电不会丢失。为实现低功耗设计，定时部分没有采用单片机，而是采用了一片PHILIPS的PCF8583来实现年、月、日、分、秒的高精度长时间的定时。巧妙地运用了该芯片的INT脚低电平信号。在没有到达所定的时间时，整个电路只有时钟芯片在工作，因此实现了低功耗。为使整个设计更完善，使用更方便，还为ISD1110和PCF8583分别增加了功放电路、辅助编程电路和PC端辅助软件。

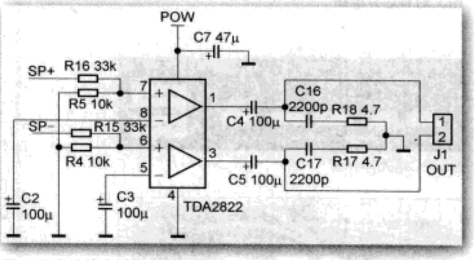


图2 语音功放电路

硬件电路原理

1. 语音录放与存储电路

ISD系列语音芯片的音质一直得到了业界的认同，但仍有很多人在用ISD的语音芯片时，没有完全发挥出它的性能，其中杂音大是让很多人苦恼的问题。笔者经过分析和调试，重新调整了该芯片的外围电路，很好地解决了噪声问题。本人设计的语音芯片外围电路如图1所示，对芯片工作模式的控制是通过S1四位拨码开关完成的。ISD1110 系列的$\overline{REC}$、$\overline{PLAYE}$、A6 和A7 端内部被上拉到 VDD，A0~A5 内部被下拉到 VSS，上拉/下拉阻值在50kΩ至100kΩ。录音时要注意语音长度并将中间两位拨码接通，此时地址A0~A7全为0，按住S3就开始录音。试听录音时将中间两位拨码接通再按一下S2即可。当录音完成后就可以设置芯片进入上电自动循环模式。具体操作是：断开中间两位拨码，接通两端的拨码开关即可。VT1，R8，C6构成了延时输入电路，因为ISD1110上电后首先要进行自我初始化，只有当初始化完成后才可以对它进行操作。VT2起开关作用，在定时没有到时关闭语音和功放芯片的供电。

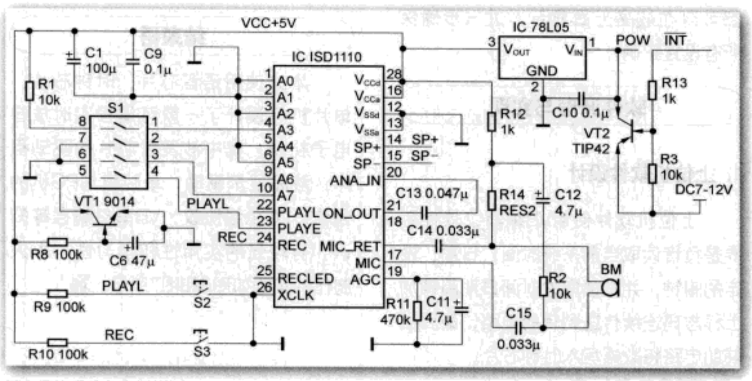


图1 语音录放与电源控制

2. 功放电路

由于ISD系列芯片都是采用平衡输出。虽然可以直接接扬声器，但是在很多地方其输出功率是不够的。对平衡输出的音频信号放大时需要分开进行，不能采用一般的音频信号放大电路。本设计功放部分使用的是PHILIPS的TDA2822，因为它的工作电压范围宽，价格便宜，容易买到，而且能满足一般的听觉要求。电路如图2所示，

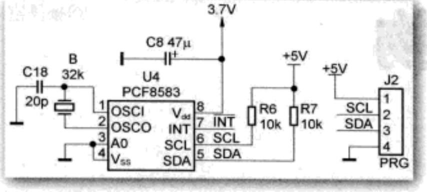


图3 时钟芯片电路

图5 PC端软件界面

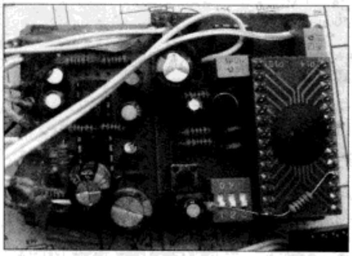


图6 语音录放与定时电路

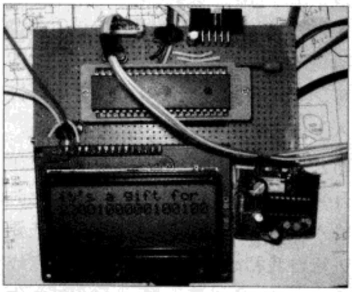


图7 编程辅助电路

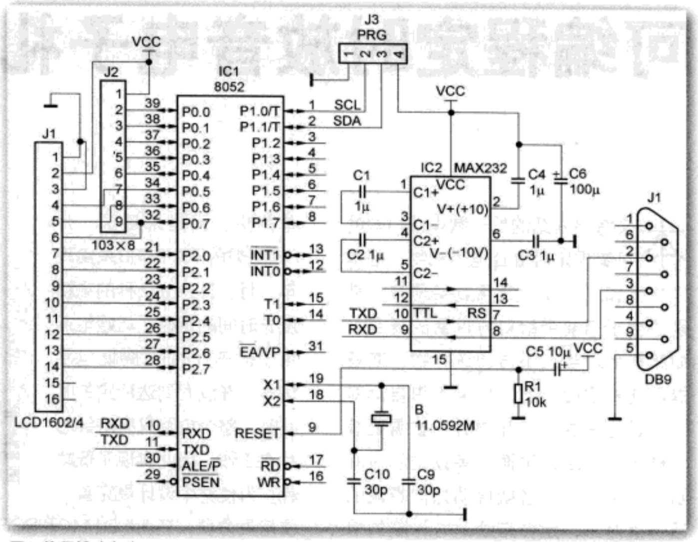


图4 编程辅助电路

此电路也可作为其他ISD语音芯片的功放电路。

3. 时钟芯片电路

这里对PHILIPS的PCF8583时钟芯片就不做过多的说明，网上资料已经很多了。本设计主要是运用了芯片的第7脚INT信号，当设置的闹钟（具有日期闹钟功能）时间到时该引脚输出低电平，利用这个低电平信号去打开VT2，这样语音芯片和功放就启动了，录制好的语音内容就可以响亮地循环播放。

4. 辅助电路

辅助电路主要由8052单片机和232电平变换芯片构成。主要用来初始化和设置时钟芯片，J3为时钟芯片编程接口，J1为1602或者1604液晶显示接口。芯片在初始化和设置时需要一次性写入好几个数据，手动设置比较麻烦，像校准时间时还有点力不从心的感觉。本辅助电路实现了电脑校时和电脑设置闹钟功能，使用方便，准确可靠！所有设置的时间和闹钟参数都可以在液晶上面显示，进一步确保所有设置正确！

软件原理与实现

1. 上位机软件设计

上位机软件使用VB编写，软件主要是负责读取当前系统时间、日期、设定的闹钟，并把读取的时间日期闹钟加上标志码连续传送到辅助电路，最后由辅助电路将数据写入时钟芯片。

2. 辅助电路软件设计

完成上位机数据的接受、数据标志码的识别、将数据写入时钟芯片对应的寄存器、显示所设定的数据。当没有上位机数据送来时，辅助电路可以读取时钟芯片的当前时间和日期闹钟数据，并在液晶上显示，此时相当于一个带闹钟和液晶显示功能的电子钟。当有上位机数据送来时，先完整地接收上位机数据，再通过标志码判断是写时间还是闹钟，最后完成数据的写入。

结束语

本文使用语音芯片、时钟芯片、单片机等设计了一款可编程定时放音电子礼物。其中涉及各芯片的驱动程序，液晶显示驱动，单片机与PC机的通信，I^2C总线协议，VB串口编程等知识，有较强的实用性和学习性。本人制作的实物如图6和图7所示。

语音温度计

◎胡静波

本文介绍一种能够进行语音报温的温度计，因用DS18B20制作的温度计已有很多文章介绍，这里就不重复了，重点介绍语音电路。

ISD1420基本知识

1. ISD1420引脚介绍

语音电路的作用是向用户播报当前温度。语音电路所选用的芯片必须具备三种功能：分段录音、放音、可寻址。根据这些功能要求，本系统选用美国ISD公司的ISD1420作为语音电路的核心芯片。ISD1420录音电路通过开关控制录音控制端REC和地址线A0～A7，放音电路通过AT89C51的P1.6口控制PLAYE放音。ISD1420引脚图如图1所示。

电源（VCCA，VCCD）芯片内部的模拟和数字电路使用不同的电源总线，并且分别引到外封装上， 以使噪声最小。模拟和数字电源端最好分别走线，尽可能在靠近供电端处相连，而去耦电容则应尽量靠近芯片。

地线（VSSA，VSSD）芯片内部的模拟和数字电路也使用不同的地线，这两个脚最好在引脚焊盘上相连。

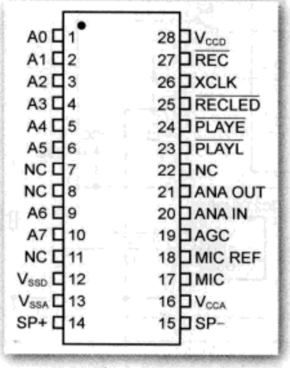


图1 ISD1420引脚图

录音（$\overline{REC}$）低电平有效。只要$\overline{REC}$变低（不管芯片处在节电状态还是正在放音），芯片即开始录音。录音期间，$\overline{REC}$必须保持为低。$\overline{REC}$变高或内存录满后，录音周期结束，芯片自动写入 一个信息结束标志（EOM），使以后的重放操作可及时停止。之后芯片自动进入节电状态。 注：$\overline{REC}$的上升沿有 50 ms防颤，防止芯片自动进入节电状态。

边沿触发放音（$\overline{PLAYE}$）此端出现下降沿时，芯片开始放音。放音持续到EOM 标志或内存结束， 之后芯片自动进入节电状态。开始放音后，可以释放$\overline{PLAYE}$。

电平触发放音（$\overline{PLAYL}$）此端出现下降沿时，芯片开始放音。放音持续至该端回到高电平，遇到 EOM 标志或内存结束。放音结束后芯片自动进入节电状态。注意：放音过程中当遇到 EOM 或内存结束时，如果$\overline{PLAYE}$或$\overline{PLAYL}$仍处在高电平，芯片虽然也进入节电状态（内部震荡器和时钟停止工作），但是由于芯片没有对$\overline{PLAYE}$和$\overline{PLAYL}$的上升沿进行消颤，随后在这两个引脚上出现的下降沿（例如释放按键时的抖动）都会触发放音。

录音指示（$\overline{RECLED}$）处于录音状态时，此端为低，可驱动 LED。此外，放音遇到 EOM 标志时， 此端输出低电平脉冲。

话筒输入（MIC）此端通至片内前置放大器。片内自动增益控制电路（AGC）将前置增益控制在－15～24dB。外接话筒应通过串联电容耦合到此端。耦合电容值和此端的 10kΩ输入阻抗决定了芯片频带的低频截止点。

话筒参考（MIC REF）此端是前置放大器的反向输入。当以差分形式连接话筒时，可减小噪声，提高共模抑制比。

自动增益控制（AGC）AGC动态调节器调整前置增益以补偿话筒输入电平的宽幅变化，使得录制音量变化很大的声音（从耳语到喧哗嚣声）时失真都能保持最小。响应时间取决于此端的5kΩ输入阻抗和外接的对地电容（即图2中的C6）的时间常数。释放时间取决于此端外接的并联对地电容和电阻（即图2中R5和C6）的时间常数。470kΩ和4.7μF 的标称值在绝对大多数场合下可获得满意的效果。

模拟输出（ANA OUT）前置放大器输出，前置电压增益取决于 AGC 端的电平。

模拟输入（ANA IN）此端即芯片录音的输入信号。对话筒输入来说，ANA OUT 端应通过外接电容连至此端。该电容和此端的 3kΩ输入阻抗给出了芯片频带的附加低端截止频率。其他音源可通过交流耦合直接连至此端。

扬声器输出（SP+、SP-）这对输出端能驱动 16Ω以上的扬声器。单端使用时必须在输出端和扬声器间接耦合电容，而双端输出既不用电容又能将功率提高 4 倍。录音时，它们都呈高阻态；在节电模式下，它们保持为低电平。

外部时钟（XCLK）此端内部有下拉元件，不用时应接地。芯片内部的采样时钟在出厂前已经过调校，

保证了标称的最小录音时间。商业级芯片在整个温度范围内，频率变化在+2.25%内,并保证最小录放时间，所以有些芯片的录放时间比标称值稍大。工业级芯片在整个温度和电压范围内，频率变化在+5%内，建议使用稳压电源。若要求更高精度或系统同步，可从此端输入外部时钟。由于内部的防混淆及平滑滤波器已设定，时钟频率不应改变。输入时钟的占空比无关紧要，因为内部首先进行了分频。

地址（A0～A7）地址端有两个作用，取决于最高（MSB）两位A7、A6的状态。当A7或A6有一个为0时，所有输入均释放为地址位，作为当前录放操作的起始地址。地址端只用输入，不输出操作过程的内部地址信息。地址在PLAYE、PLAYL或REC的下降沿锁存。

2. 使用方法

ISD1420内置了若干操作模式，可用最少的外围器件实现最多的功能。操作模式也由地址端控制，当A7和A6都为1时，其他地址端置高就选择某个（或某几个）模式。因为操作模式和直接寻址互相排斥。操作模式可由微控制器、也可由硬件实现。使用操作模式有两点注意：

（1）所有操作最初都是从0地址，即存储空间的起始端开始。后续操作根据所选用的模式可从其他的地址开始。此外，A4模式中，当电路由录转为放时地址计数器复位为0，而由放转为录则不复位。

（2）当控制信号（PLAYL、PLAYE或REC）变低，同时A6和A7为高时，执行操作模式。这种操作模式一直有效，除非控制信号再次由高变低，芯片重新锁存当前的地址/模式端电平，然后执行相应操作。

ISD1420操作模式如附表所示。

ISD1420录音电路如图2所示。

ISD1420芯片通过本电路可以进行分段录音，录音时间可达20s，通过对A0～A7输入不同的地址可以选择不同的录音段，播放时对A0～A7输入不同的地址便可以播放相应单元里的

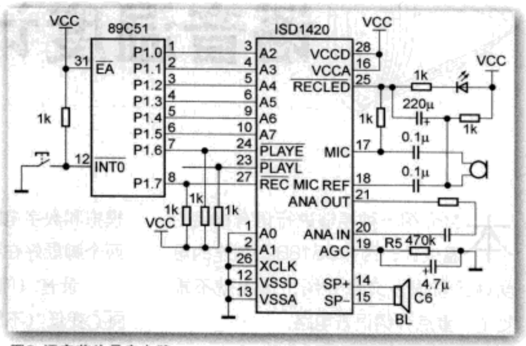


图2 语音芯片录音电路

附表 ISD1420操作模式

模式	功能	典型应用	可组合使用的模式
A0	信息检索	快进信息	A4
A1	删除EOM	要最后一条信息的结束处放置EOM	A3、A4
A3	循环	从0地址循环放音	A1
A4	连续寻址	录放连续的多段信息	A0、A1

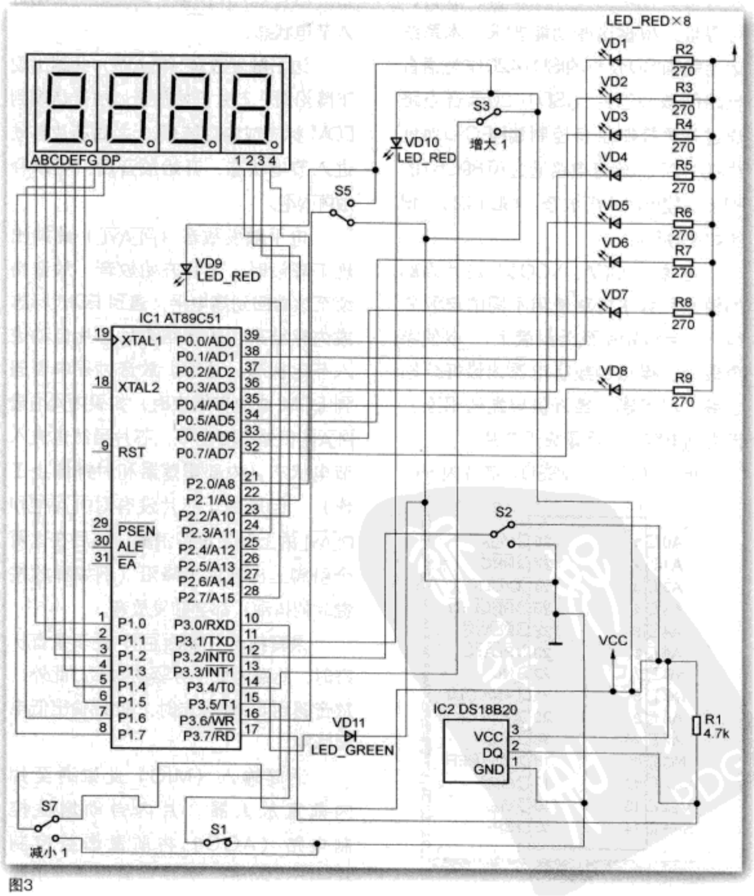


图3

盛群半导体新推出新一代音乐微控制器

资料室

过去以来一直受到市场好评的音乐微控制器HT36xxx有了新伙伴：HT37xxx。该系列MCU不但承袭了HT36xxx所有的优点，也加入更多硬件线路，提供各种弹性地应用接口的可能。

HT37xxx系列结合盛群8位微控制器核心与WaveTable取样技术，让音乐表现直逼CD音源。内含0.4W CLASS AB功率放大器，可直接推动8Ω / 16Ω扬声器，相较一般音乐IC的PWM推动扬声器方式，能提供更好的音乐质量，内建高音质立体声16-bit DAC、ADC模拟数字转换器与为数众多的I/O 脚位，能满足音乐产品所要求的多样功能与丰富音色所需。

不同于一般的音乐仿真方式，HT37xxx系列采用WaveTable技术加上音色补偿线路，无论是4声道的HT37Qxx或是8声道的HT37Axx，均维持一贯的纯净音质。HT37xxx新增语音数据音质加强技术，透过数字滤波器，让WAVE文件播放的输出音质能够如同MIDI文件一般清晰干净。

HT37xxx音乐微控制器适用于Piano产品、高音质音乐播放器、电子式八音盒等产品。

经济高效的入门级8位微控制器SE8

资料室

飞思卡尔半导体日前推出8位MC9S08SE8/4（SE8）微控制器（MCU），在一个28引脚8位MCU中实现了卓越的性能和集成。SE8 MCU与飞思卡尔的5V MCU系列兼容，包括与S08SH 器件（S08SH8和S08SH32）的引脚、外设和工具兼容以及与RS08KA MCU的引脚兼容。SE8增强了飞思卡尔的入门级8位微控制器系列，将HSC08内核和外设的优势延伸到5V应用。

高度集成的SE8 MCU系列提供了一系列经济高效、更高引脚数器件选项，包括用于入门级产品的20 MHz MCU版本。增强型功能包括丰富的模拟功能、全面的串行通信模块套件、片上温度传感器和强劲的内存选项。

SE8 MCU非常适合于电压在2.7V至5.5V之间的各种通用消费电子和工业控制应用，其主要特性如下：

- 8位HCS08内核速度可达40 MHz
- 集成的第三代闪存和RAM
- 灵活的时钟选项
- 22个输入/输出引脚、一个仅输入引脚和一个仅输出引脚
- PTB（5:2）和PTC（3:0）的联动输出选项
- 多个串行通信选项
- 10通道、10位模数转换器（ADC）
- 实时计数器（RTC）
- 三个定时器模块
- 系统保护功能

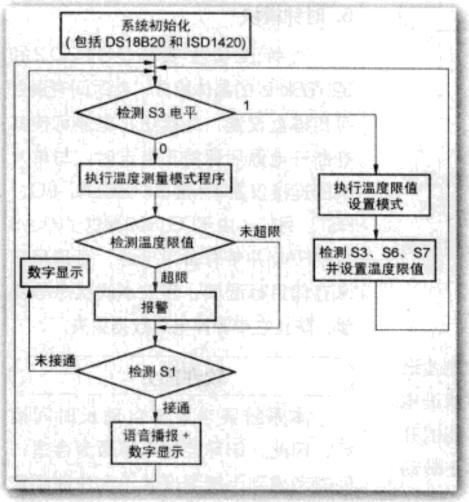


图4

声音。输入地址A0～A7有效范围为00000000～10011111，这表明最多可以被划分为160个存储单元，向不同的单元输入不同的词素，播放时连续输入不同的地址便可以组合成不同的语音。本设计共将其分为17段，分别放入不同的词素，如：当前温度是0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10摄氏度等。

设计过程

1. 电路图

因为proteus库中没有ISD1420芯片，所以用8个发光二极管代替其地址输入端，电路如图3所示。

2. 功能描述

(1) 温度测量模式

当系统上电后将开关S5置于低电平位置，系统就进入温度测量模式，在此模式下可以通过数码管实时数显当前温度值，测量范围为-50℃～125℃。当开关S1置于低电平位置时系统便可自动语音播报当前温度值（在生活中为视力不方便的朋友提供了极大帮助），语音播报范围为-99℃～99℃。当温度值高于预先设置的温度限值时系统便可自动声音报警。

(2) 温度限值设置模式

当系统上电后将开关S5置于高电平位置时系统就进入温度限值设置模式，此时数码管显示温度限值，限值范围为-50℃～125℃，系统默认为36℃。温度限值可以通过按钮S3、S6、S7任意设定，其中S3为温度值加一按钮，S6、S7分别为温度值加10按钮和温度值减10按钮，设置好温度限值后将开关S5置于低电平便可以进入温度测量模式。

3. 程序流程

程序流程图见图4，完整的程序可到www.radio.com.cn上下载。

智能节水 抵御干旱
——单片机控制的灌溉系统

◎吴岭清 孙楠楠 王敏 江婷婷

节水灌溉是一项现代化的工程技术，无论是工程节水、农业节水，还是管理节水都必须建立在节水灌溉设备实现产业化生产的基础上。该作品针对公园和其他公共绿化场地用水浪费现象进行设计，以AT89S52单片机为控制核心，通过传感器采集土壤中的水分含量和室外温度，对灌溉系统实现智能控制。但由于符合应用要求的土壤湿度传感器价格昂贵，本作品采用空气湿度温度传感器作为替代。

系统设计思想

本作品利用PID思想实现了对土壤湿度的自动控制。该思想要求是：当土壤湿度与要求相差较大时大幅度开启水阀；当湿度即将达到要求时逐渐关小水阀把水流调小，直至关闭。考虑到洒水后土壤湿度上升需要时间，该方法可以有效防止浇水过多，达到精确控制的目的。

要实现PID思想需要对土壤湿度反复测量，采用“测量→判断→修正→再测量→…”的循环操作。

其中，测量由温湿度传感器SHT10实现，SHT10是该系统最主要的芯片，其测湿精度为±4.5%，测温精度为±0.5℃，具有长期稳定和极高的可靠性，且低能耗，外形见图1。接着需对信号做出判断，判断条件为：(1)环境湿度是否低于目标湿度；(2)当前时间是否适合灌溉；(3)水阀是否已经开启。若需修正则控制UML2003芯片驱动步进电机，带动水阀转动。等待适当时间后再次测量，重复上述过程。

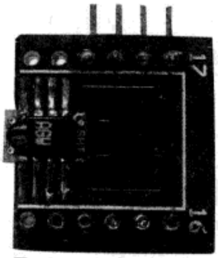


图1 SHT10湿度温度传感器

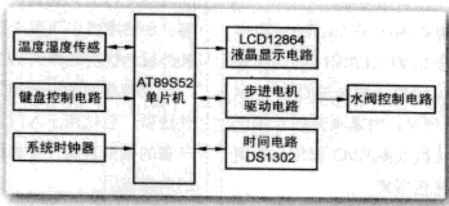


图2 系统框图

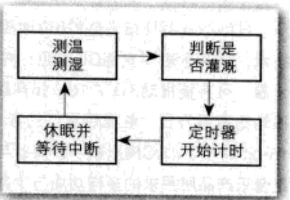


图3

综合以上思想，本制作具有智能、节水、节电、适时、适量、易于控制等多种特性。

硬件部分

系统框图如图2所示。

此制作分为如下几个模块：

1. 温度湿度采样模块

由SHT10芯片来测量植物附近土壤的湿度及温度，将数据传送给CPU，与预设温度及湿度进行比较来判断是否需要打开或关闭水阀。

2. 步进电机驱动模块

向I/O口输出相应脉冲来控制步进电机的旋转方向及角度。同时步进电机与水阀相连，以此来控制水阀的开关。当步进电机开始转动或停止转动时，蜂鸣器响三声以提示用户。

3. LCD显示模块

模块采用TMDMG12864A，它由HD61203U行驱动和HD61202U列驱动构成。各行依次显示日期、时间、温度、湿度以及当前水阀状态，需要设计的是监视、设置两种界面的切换以及特殊符号的显示。

4. 键盘模块

因不同地域、不同植物对土壤湿度的需求不同，需要手动设置目标湿度。只需使用三个按键，故用单片机直接定时扫描并采用软件防抖。

5. 时钟模块

时钟模块主要由DS1302和32.768kHz 的晶体组成，若时间有误差可用键盘设置，外接纽扣电池可使其在断开电源后保持正常走时。与单片机的连接仅需3个接口：SCLK、I/O、RST。另外，由于DS1302提供了31×8位的RAM并带有备用电源，可采用它来存储目标湿度、当前水阀状态等变量，防止主电源掉电后数据丢失。

软件部分

本系统要求能够自动长时间运行，因此，闭环控制思想最为合适，同时考虑到土壤湿度并不会快速频繁变化，便采取周期中断方式执行各项操作，空闲时间CPU进入休眠状态以降低功耗，方框图见图3。

为简化编程，可采用一个定时器产生周期中断，由标志变量fun中的值决定此次中断的功能，在每次中断的结

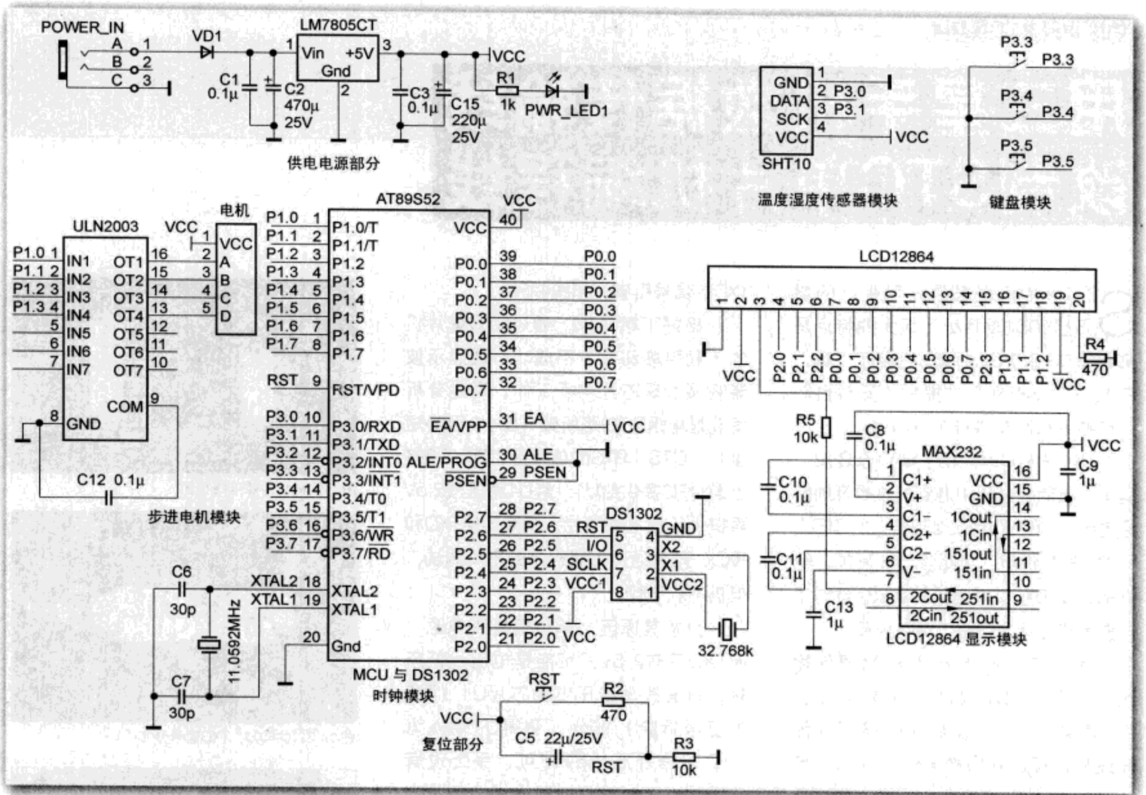


图6

尾把fun值改为下次中断将要进行的功能。程序可到www.radio.com.cn下载。

作品采用的PID控制只需根据土壤湿度对水阀分段设置开启幅度即可。

至于对SHT10的编程，由于该芯片并没有采用标准接口而是提供了示例程序，只需对其稍作修改即可使用。

制作调试与使用

电路实物照片见图4。

整个系统分两部分制作：显示、键盘、时钟、单片机做在一块电路板上，主要用于处理数据；在另一块电路板上放置采样和驱动模块，主要用于完成动作。电源选用功率为10W左右的普通电源变压器，接到数据处理板上。最后用排线连接单片机与ULN2003A步进电机驱动芯片和SHT10空气温湿度传感器，当然同时连接两块板的地线和+5V线。这样就可以通过改变排线的长短把动作板放在需要的位置。

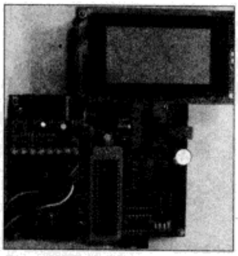


图4 系统整体外观

安装水阀时，首先根据供水管选取合适口径的塑料三角阀，将其旋钮的外壳拆除即可看到阀芯的转轴。接着在阀芯转轴上打孔，然后把电机轴与阀芯轴同轴连接固定即可，见图5。最后测试电机能否转动水阀，若输出功率不足可将驱动部分的ULN2003A达林顿管芯片更换为L298芯片以利用H桥提供更大的驱动电流。

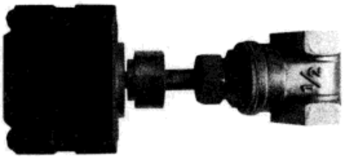


图5 步进电机与水阀连接

实际应用中需要把SHT10空气温湿度传感器更换为土壤湿度传感器，可以选用SC0058型土壤湿度传感器，它体积小，重量轻，测量速度快，一次埋设可正常使用两年。但该传感器为模拟输出，需进行A/D转换，可以选用德州仪器公司的TLC1549芯片进行转换，它具有10位精度，转换快，功耗低，能满足实际应用的要求。

此外，还有很多扩展，读者可自行设计。

系统电路图见图6。

单片机开发工具DIY

◎徐延军

用三星手机数据传输线改制STC单片机编程线

STC单片机是宏晶公司生产的增强型8051单片机，最大的特点是采用串口P3.0/P3.1脚进行程序下载，下载线可以根据厂方提供的资料自制（可参考www.MCU-Memory.com）。

图1是STC单片机下载线原理图，笔者在自制的过程中遇到的主要麻烦就是电源，如果采用RS-232接口的CTS、RTS等信号供电，电路就比较麻烦。笔者采用USB接口供电用MAX232自制了一套大获成功，但做工实在粗糙。

手头有一根三星手机数据传输线，型号为PCB133LBC，如图2所示。能否废物利用——改制成RS232-TTL传输线呢？经过网络搜索未能找到该产品资料，只能“解剖”了。除了RS232接口和屏蔽磁环外只有这个黑匣子能装电路板了。卸下2颗螺丝，轻轻撬开外壳（注意扣件，如果损坏就难以复装了），电路全是贴片器件，双面贴装，精致的电路板让我的手工制品无地自容啊！经过测试分析确定RXD和TXD的信号引脚，如图4所示。

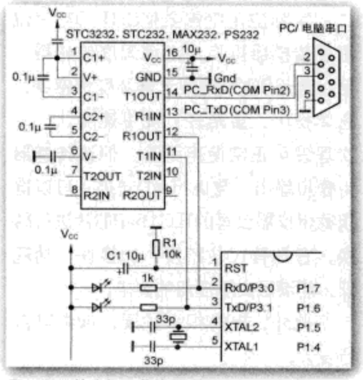


图1 STC单片机下载线原理图

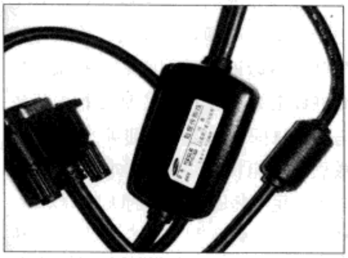


图2 三星手机数据传输线

接好下载对象，通过STC单片机的下载程序测试，不成功！通过示波器观察发现芯片均不工作，通过分析发现是电阻R6开路所致（图4中已经短接），CTS、RTS的信号经过D1~D3整流通过R6提供给U1，经U1稳压成2.5V再提供给板上的芯片。直接短接TXD和RXD，顺利通过下载程序的串口调试，但仍不能下载！

分析其原因：单片机是5V电源，而TXD只有2.5V，可能是电压过低所致。只有改动稳压电源芯片U1（图5中已经拆除）部分。测得U1输入为7V，只需降压成5V即可，手上没有LM78L05只有LM78M05,就凑合用了。将LM78M05的1脚焊在C12正极；3脚焊在U1的1脚，再将LM78M05底线飞接至地线，如图6所示。

改装完毕后经过测试把不用的器件U3、R3~R5全拆掉以降低功耗。最后把原来的手机接口拆掉引出RXD、TXD、GND并封装好，如图7所示。

经过长时间使用，该下载线非常稳定。通过对电路板上芯片资料的查阅，都能安全工作在5V电压。

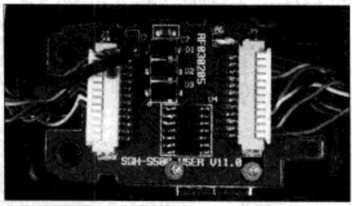


图3 数据线内部电路板图

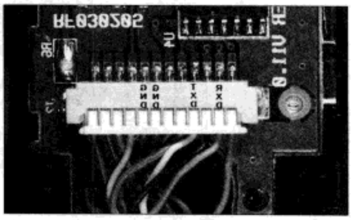


图4 J2口的RXD、TXD信号分布

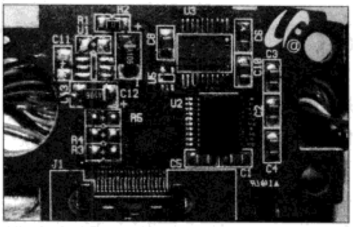


图5 电路板电源芯片U1

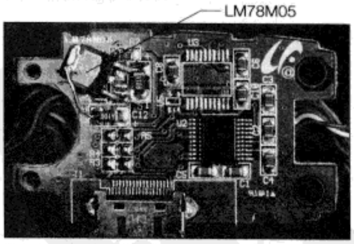


图6 LM78M05安装图

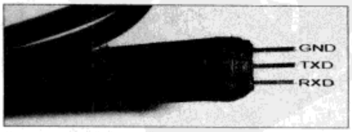


图7 至下载板的TTL接口

不会莫尔斯电码也能发报

——易做易用的莫尔斯电码自动发生器

◎卫小鲁（BH7PCK）

从一个故事谈起：

20世纪二战时期，无线电技术发挥了巨大的作用。英国的雷达、法国的声纳以及各国使用的无线电通信，都成了克敌制胜的有力武器。而且某些方面的发展，可说已经超越了时代。有这么件事：有个为某国服务的谍报员，他不会莫尔斯电码又不愿意邮寄或通过别人转发情报。于是间谍机关居然给他特制了一个雪茄烟盒子大小的电台，它不使用电键，而有着一个类似自动电话拨号盘的装置，接通电源工作起来，用这个拨号盘把情报逐字逐句输入电台并存放在磁性纸带上，然后按一个按钮，电台和收信端频率自动对准，一旦电台上的调谐指示管指示电台频率已经自动调谐准确，就按下另一个按钮，于是先前储存的信息就会在0.6秒的时间内快速发送出去。在那个只有真空管和继电器的时代，要打造这么个东西，真可谓费尽心机！

半个多世纪过去了。时至今日，由无线电派生出来的电子技术的发展，大大超出人们的想象，通信模式一再演变，摩尔斯电码已经不再重要并淡出了历史舞台。但是众多业余无线电爱好者仍然在孜孜不倦地学习使用这个爷爷辈的技术，外人看来神秘的嘀嘀哒哒，还是吸引着世界各地的火腿……君不见，在每年CRSA的升级考试中，CW还是三级以上必考项目呢！

要学会摩尔斯电码，先得学会“听”，要从长短不一的嘀哒中正确辨认出字母和数字，的确要下一番功夫，现在电脑普及，可以通过例如Koch软件帮助我们学习，用它来循序渐进地练习收听随机性的电码，最终达到熟能生巧，条件反射的程度。也可以说学莫尔斯电码有点类似学语言，而反观我们小时学习语言的过程，实际上都是由最简单的词例如“妈妈”开始学习的，谁也不会教给小孩“土拉它”这样毫无意义的音节。同样道理，我想，如果能够在学习时，一开始就练习分辨一些最基本最简单的通信语句如“CQ DE…”是否有所帮助呢？因此就准备制作一个练习器，更准确地说是一个练听器，让我可以自主地用按键输入字符报文并储存起来，然后把报文翻译成正确的莫尔斯电码播放出来，即使我还没有电台，也不具备操作CW的资质，还是可以从这个小机器自主体验收听电码的感觉。这个“练听器”也可说是一个软件控制的硬件“莫尔斯电码发生器”，它的外观见图1，功能如下：

1. 脱离电脑，用小键盘自主输入报文，包括空格符最多可达320个字符；

2. 通过小键盘对输入的报文内容进行查看和修改等简单编辑；

3. 用按键控制启动和停止循环播放由一段报文转换得到的莫尔斯电码，速度可用按键调整；

4. 可以把输入的报文统统储存到EEPROM中，断电后内容不会消失；

5. 可以模拟出一些特殊的连发字符如AR、BT等。

这样一方面可以用它学习常用的CW通联短语、简语，一方面也能帮助我们练习听懂莫尔斯电码，当然你也可以输入无意义的电码组合来练习听力。以前用真空管和继电器很难完成

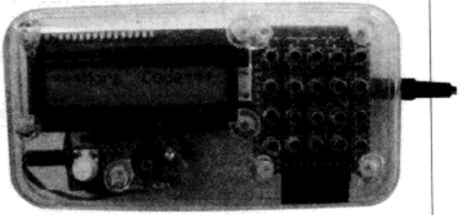


图1

的任务，现在用单片机可说是轻而易举就解决了。下面切入正题。

电路构成

电路原理见图2，可谓非常简单，其中核心就是AVR单片机ATmega8最小系统以及字符液晶模块1602，再就是自制的20键小键盘和稳压电源。硬件就是这么几个，见图3。ATmega8具有8KB ROM，512B RAM，512B EEPROM，出厂内带1MHz时钟，内部资源丰富。22个I/O引脚直接就可以使用，可通过简单的下载线编程，是一种性能高、体积小、价格低的MCU。现在用它的PD口作液晶模块1602的数据口， PC5、4、3脚用作液晶控制口。液晶模块采用8线标准接法。PB口和PC1用作20键矩阵小键盘行列线输入、输出。串有音量调节可变电阻的有源讯响器由PC2输出驱动。具体结构的特点是：1.采用了模块化设计，最小系统板上MCU的全部引脚都连接到插针排，各功能模块之间通过插针用“杜邦线”互连，这样各部分的配置十分灵活，例如，你也可以用PB口接LCD数据口，PD口接小键盘，只要拔插一下，程序中重新定义口线即可，很方便。它上述各部分都是通用的，你将来也可以把它全拆了用在别处而不用动烙铁。2.电源

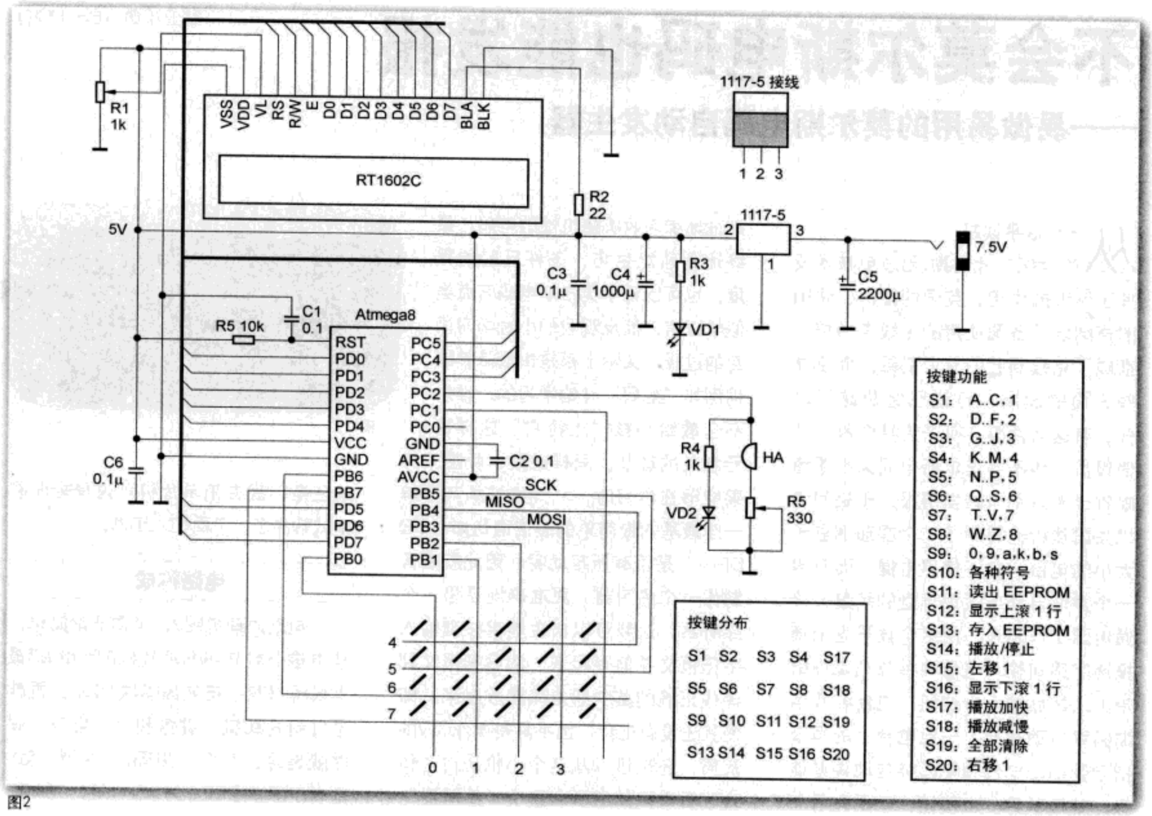


图2

上使用了低压差稳压块1117-5，优点是体积、功耗和发热都比常用的7805小，符合时代潮流。外部电源也无需9V，7.5V就足够。注意：电源输出端发光管并非可有可无，它防止在脱离负载的情况下拔掉整流插头，致使输出电压可能比输入电压高而损坏稳压块。3.用有源讯响器作发声元件，体积小、声音洪亮，也便宜，ATmega8可以直接驱动。制作时可选择直接驱动或经晶体管VT1 9013驱动。

工作原理

程序流程：大流程也简单。上电以后首先MCU和LCD初始化，启动T/C2定时/计数器并开中断，中断周期大约100ms。接着进入程序循环：键查询、键扫描和键处理。程序主要功能集中在以下几点：

1. 报文输入：通过小键盘输入26个英文字母和若干标点符号并在LCD上显示，在MCU的RAM区开辟一个320B的缓存区text_page[320]，用来临时保存输入的字符。这些信息也可以转存到同样大小的EEPROM中，以便断电后继续保存信息。为了用较少的按键输入字符，采取了类似手机那样按键复用的办法，例如对于第一个键，按第一下是A，再按是B，再按是C，再按是1，如此轮流进行。从LCD1602的下行显示输入的报文，用左移键和右移键控制字符输入的位置。输入一个字符按一下右移键，一行输满了16个字符，自动向上滚行并存入缓存区。也可通过上移键和下移键搜索上一行和下一行的内容并加以修改。

2. 把输入的字符转换为莫尔斯电码：输入和缓存的字符都是1B的ASCII码，而莫尔斯电码却是长短不一的电脉冲，例如字母E，就是“.”（“嘀”），数字0是“-----”（“哒哒哒哒哒”）但是“嘀”、“哒”和它们之间的间隔长短是有严格规定的：“-”等于3个“.”，字母内，“嘀哒”间隔等于1个“.”，字母和字母的间隔等于3个“.”，字和字的间隔等于7个“.”。我们可以用二进制bit表示莫尔斯电码，用“0”表示间隔，那么“1”表示“.”，“111”表示“-”，这样就有转换的基础了。如图4所示，表示DE BGE的莫尔斯码和对应的二进数表示。从中可以发现，要么脉冲是1，要么是111，没有11的情况存在。这点很有用！下面再说。为了能够用

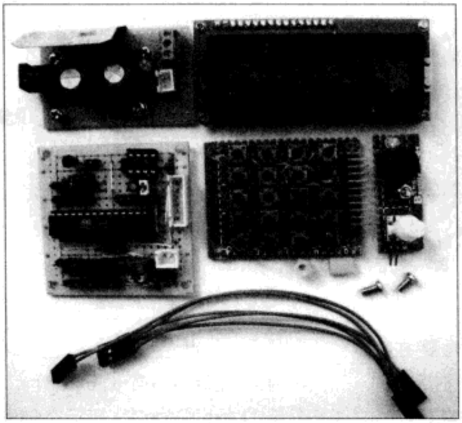


图3

查表的方法把ASCII转换为莫尔斯码，首先把莫尔斯码都规格化为“无符号长整型数”即字长4B（32bit），不管原来莫尔斯码的长短，不足部分用0凑整，这样，字母“E”的十六进制代码就是0X80 00 00 00，字母“D”就是0XEA 00 00 00，为了判断字母是否结束，我们在最右边的1后面留出3个0（字母之间的空档），紧接着加上2个1表示字母结束，这样字母E的代码进一步变为0X8C 00 00 00，字母D的代码变为0XEA 30 00 00，通过这样的编码变换，就具备了输出莫尔斯电码的条件。

3. 处理和输出莫尔斯电码：首先我们在单片机的FLASH ROM区建立长整型数的查找表ABCtab[30]（字母）和SYMBtab[26]（符号），能够把键盘输入的字符的ASCII和上述变换后的莫尔斯码对应起来。在程序运行开始，就启动了单片机内部的自动装载定时/计数器（本制作用了8位定时器T/C2），事先选择分频比和预置值，使得每100ms左右发生一次中断。按下“播放/停止”键，标志变量playback_counter置位(再按就清0)。在text_page[]中找到符合当前显示的报文起始并在查找表中查出第一个字符对应的莫尔斯码，中断时间一到，首先刷新液晶显示1602，接着按照上述标志playback_counter决定是否输出这个莫尔斯码。如果要求播放输出，则首先判断当前MSB是否出现有连续2个1（而不是3个1），一旦出现说明当前字符已经播放完毕，就要取出下个字符，否则判断其MSB是0还是1来给PC2相应置低或置高。然后代表莫尔斯码的长整型数左移一位，下次中断接着对PC2置高或置低。仅仅1个高发“嘀”，连续3个高发“哒”。因为触发两次中断的时间间隔100ms相对于单片机运算处理需要的时间长很多很多，因此执行中断程序产生的时间对实际播放的“嘀”“哒”的时间准确性，可是说完全没有影响。而这个100ms也就是一个“嘀”的时间，那么“哒”也就是300ms。嘀哒长短的比例关系由编码决定，绝对时间则由MCU定时器的设置决定，前者除了编程外不能修改，保证了正确的时间比例，后者可以在使用时调整，也就具有了快慢调节功能。

4. 由此可见，这个小机器，硬件并不复杂，关键就是通过程序把几个单元有机结合为一个整体，和谐一致地运行，程序重点是按键处理。为了能够像硬件一样复用这些程序，除了自行宏定义相关引脚外，把液晶相关和查找表都单另作为LCD1602.h和chartab.h头文件，使得.c文件更加紧凑。LCD1602.h头文件也可以不加修改地用于别处。

制作要点

1. 电路板就是用的“洞洞板”，基板有环氧板和胶纸板两种，前者贵一点，但是焊盘比较牢固，反复施焊只要时间不是太长一般不会脱落，纸板就差些，使用要注意，经受不起元件反复拆装。另外焊盘有方形的，也有圆形的，后者容易形成光滑的焊点，但焊盘间也容易搭锡。买的时候注意一下仔细观察板子是否平整？焊孔间距是否严格一致？焊盘是否光亮如新？总之不要把劣质品买回来。

2. 稳压电源用了低压差稳压块1117-5，一般销售的都是贴片元件，本来使用在印制板上要利用焊在大面积铜箔上，散热不需要另加散热器。在洞洞板上用最好焊一片紫铜片辅助散热，铝片因焊不上不能用。我是用的一小块镀锡铁片（废罐头盒）做散热片用，效果虽然不如铜片，但因为元件的发热量比7805小得多，所以长时间使用也只有微温。注意了，外面那个7.5V整流插头，可不能随便使用地摊上的劣质廉价货，电源中变压器小，线细，负载稍大些输出电压就降得很厉害，造成后面稳不了压。

3. LCD是MOS元件，成品非要焊线使用不可。它虽然不至于“摸死摸死，手摸就死”，可是你的烙铁漏电吗？如果插上交流电源后，烙铁头能够让试电笔发光（甚至微亮），说明对地电压已在氖泡起辉电压60V以上，就可能损坏液晶内部电路，因此要么拔掉电源利用余热焊接，要么改造烙铁，使用单相三线插头，烙铁金属外壳接中间那根保护地线。好在现在住房配线一般都用了漏电开关进线、带保护地线的单相制。只要配线规范安装，接地是可靠的。为了掌控焊接，建议烙铁一定要使用温控装置，最简

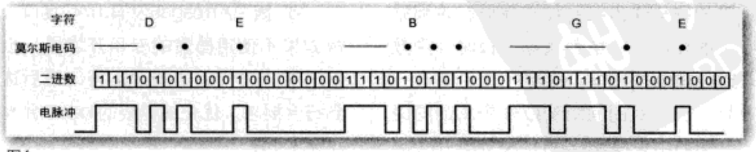


图4

单的就是到五金店买一个吊扇用的电子调速器，用它来控制烙铁温度又便宜又方便。

4. 键盘用的小轻触式按键，要注意键柄长度，如果不打算用外壳也无所谓，否则要选择合适的柄长。

5. 模块之间连接使用的“杜邦线”电子市场就能买到。不过一般较长，自己制作就要买导线、端子、外壳和压线钳。如果没有条件自己制作，那也就只能一焊了之了。或者就采用常规的大板结构，用一块大板把单片机和键盘、液晶统统装上去，不要盒子。不过成品学习板一般都不会提供20个的矩阵按键，所以使用上有限制。

6. 如果要使用外壳，就用热熔胶把电路板的塑料垫柱粘结在外壳的适当位置。我用的是一个透明的塑料糖果盒子，比较美观。

编程

1. 使用WIN AVR和AVR STUDIO 4.0，都是免费的开发工具。使用C语言编程很方便。为了实现字符按键一键多用，程序中针对这些键设置了各自的具有static型的计数变量。字母A~Z和数字1~8共使用了8个键，0、9和几个特殊字符、符号使用了2个键，其余10个键都是功能键。程序中使用了较多的数组操作，因为要具体到1602显示的每个字符而不是字串，所以按照下标直接操作数组。头文件LCD1602.h中原有的DispListChar()函数以空格作为字符串结束，而现在大量存在空格前后的字符，故不好用，另外自编了一个DispLine()函数加进去。把“<”和“>”这两个莫尔斯码不使用的符号作为控制报文播放起始和结束的标志。考虑到实际发报时有少数连发的要求，即把两个字母合并在一起，三个点的间距变成一个点的间距（例如结束AR），特地设立了几个小写字母a、b、k、s特殊编码以便和后续常规字母组合成连发符号（AR、AS、BT、KN。另外s5组合出表示错误的电码“……..”）。另外“清除键”会把缓存区全部用空格字符填满（ASCII为32），为了避免误操作，需要按2次才起作用。

2. 鉴于这个练习器需要在EEPROM中保存数据，因此必须把熔丝位“BOD”编程为使能，以免在起动或关机时刻，由于电源电压的缓慢变化造成误写EEPROM。

3. 定时计数器T/C2按照分频比1/1024设置，ATmega8的内部默认时钟振荡频率是1MHz，再配合计数器的预置值OCR2=100，使得触发一次中断大约需时100ms。

4. 编程调试采用分部进行的办法，先一个个解决问题，最后综合起来。例如先把液晶点亮了，能够正确显示，再处理按键矩阵，然后逐个实现按键功能，最后增加定时中断中处理输出的部分。尽管AVR的驱动能力较强，直接带动小讯响器没有问题，不过还是加了个9013驱动讯响器和发光管，可以任选。输出1讯响器就开叫。输出0讯响器就哑巴。

5. 特别注意的是，固然1602的刷新放在主程序循环中似乎也可以，是的，不启动定时器中断的确可以，但是我们从头到尾都少不了这个中断，极有可能中断会打乱了液晶的刷新，一旦打乱因为你在程序循环中不能再对1602初始化，结果就麻烦了，所以刷新放在中断处理中。

6. 因为ATmega8没有JTAG接口，故如果不使用昂贵的专用开发器，也就只能边改代码边测试运行，最后达到符合要求。优化编译成的.hex文件大小为3.2KB。

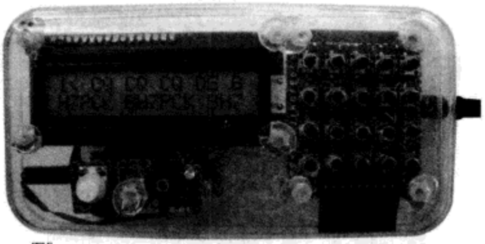


图5

使用

1. 插上电源液晶亮（开背光），上行显示***Mors Code***，下行空白。最左有个“_”说明自检完成。如果先前已经在EEPROM中存有报文，按读出键，液晶就显示最前面的报文。不然就一个个字母地输入报文吧。首先输入n<，其中n可以是数字也可以是字母，接着用字符键和右向键逐个将字母、空格，输入报文。当下行输入满了再按右向键，下行内容会滚入上行显示并存入text_page[]数组。一段报文输入完了用>结束，要继续输入另外的报文，就必须另起一行。

2. 要播放某段报文，就先用上滚或下滚键使得该段报文的开头（n<）位于1602的上行。然后按下播放键，程序就在text_page[]数组中搜寻符合起始条件的报文，查表转换。定时器中断就检测，输出并进行后续查表、转换，嘀嘀哒哒就从讯响器中响起来了，再按播放键就停止。想听另外一段，就用上滚或下滚键让该段报文的开始部分在1602上行显示，再按播放键就行了。按照定时器的设置，默认的发报速度为每分钟12组（用“PARIS”实测），通过按下加速或减速键可以使速度加快或减慢。另外按下存入键，已经输入的报文内容就会存进EEPROM中了。

最后，如果我们让PC2通过晶体管同时驱动一个小型继电器，那它变成了什么东西呢？我不说你也知道了。

年误差小于1分钟的电子钟

◎刘作新

以实时时钟发生芯片为时间基准，通过单片机读取时间信息并显示出来的电子钟的方案与实际电路，在电子刊物上已经有过不少介绍。在这些电路中，实时时钟芯片大都选用DS1302或PCF8563等型号，这些芯片都采用了外接晶体振子和晶振匹配电容来构成振荡电路，晶体振子和晶振匹配电容的精度决定了实时时钟芯片的计时精度，它们的谐振频率和容值不可避免地要受到环境温度的影响，再加上晶体振子和电容自身的质量因素，所以上述类型的实时时钟芯片的计时精度有些差强人意，月误差达到了分钟级，年误差则可想而知。穷则思变，芯片设计厂家针对上述影响计时精度的因素，开发出了新一代的实时时钟芯片DS3231，它采用内置晶体振子和带温度补偿的晶体振荡电路，从而消除了晶体振子自身质量因素和环境温度对计时的影响，提高了计时精度，在温度0℃～40℃范围内，计时精度为年误差≤±1分钟，号称业内计时精度最高的实时时钟芯片。笔者采用此芯片与单片机配合，设计制作了一款高精度的电子钟，电子钟的实物照片如图1所示，此电子钟有如下特点：

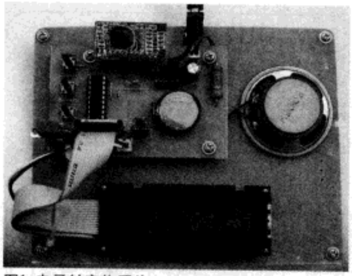


图1 电子钟实物照片

图2 屏幕显示效果

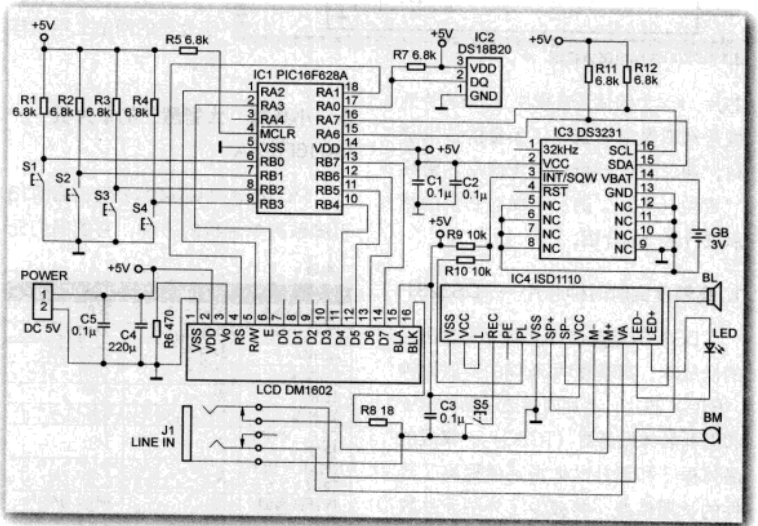


图3 电子钟电原理图

1．计时精度高，在温度0℃～40℃范围内，计时精度为年误差≤±1分钟，避免了经常校时给使用带来的不便。

2．电子钟可以显示年、月、日、星期、时间、温度全部信息，实际屏幕显示效果如图2所示。

3．提供有效期到2100年的闰年补偿。

4．停电时实时时钟芯片自动切换到后备电池供电，保证计时的连续性，时间信息不会丢失。

5．带测温功能，可以实时检测并显示环境温度，测温范围为0℃～99.9℃。

6．有闹钟功能，闹钟铃音采用固体录音芯片产生，所以铃音可以随时更换，更可以录入亲人的话语当作提示音，避免了长时间用一种闹钟铃音的枯燥乏味。

核心元件介绍

电子钟的电原理图如图3所示。在原理图中IC1为单片机、IC3为实时时钟

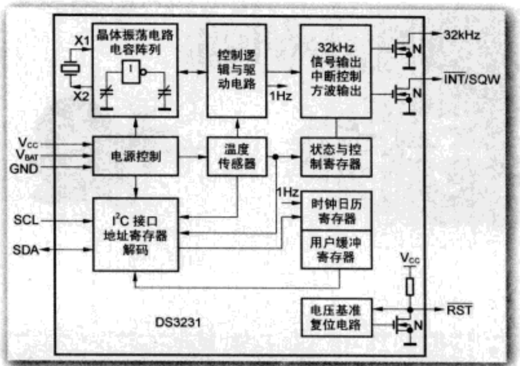


图4 DS3231内部电路方框图

芯片、IC4为固体录音模块，3个芯片的型号选取是笔者查阅了大量的技术资料，通过对比分析综合考虑后才最终“定型（号）”的。下面对它们的特点进行逐一的介绍。

1. 高精度实时时钟芯片——DS3231

DS3231是美信-达拉斯半导体出品的低成本、高精度I^2C通信的实时时钟（RTC）芯片，芯片内集成了晶体振子和温补晶体振荡器（TCXO）。集成的晶体振子和温补晶体振荡器提高了器件的长期精度，并减少了外围元件数量。通过集成的晶体振子和温补晶体振荡器（TCXO），使其在0℃～40℃温度范围内精度优于±1分钟/年（<±2ppm）。图4是其内部电路组成方框图，通过方框图我们来分析其实现高精度计时的原理。

从图4我们可以看出，DS3231内部主要包括9个模块，这其中晶振电路与电容阵列、控制逻辑与驱动电路、温度传感器3个部分构成温补晶体振荡器（TCXO）。控制逻辑与驱动电路读取片上温度传感器的测温输出值，根据温度值使用查表法确定晶体所需的负载电容，通过调节晶体的负载电容，校准晶体振荡器的振荡频率，使晶体振荡器的振荡频率不受环境温度的影响，最终达到提高计时精度的目的。器件每隔64秒进行一次温度测量并校准晶体振荡器的振荡频率，后备电池供电时同样是每隔64秒进行一次温度测量并校准晶体振荡器的振荡频率。

DS3231的其他电气特性可参阅其技术文档，可从美信公司的网站（www.maxim-ic.com.cn）下载，还可以在美信公司的网站上申请样片。

2. “小身材，大智慧”的单片机——PIC16F628A

PIC16F628A是微芯公司出品的18引脚系列单片机的一种，它的同门兄

附表

	PIC16F84A	PIC16F628A
程序存储器	1KB	2KB
SRAM	68字节	224字节
EEPROM	64字节	128字节
I/O端口	13个	16个
比较器	无	2个
定时器	1个	3个
CCP、PWM模块	无	1个
USART/SCI模块	无	1个
内部振荡器	无	4MHz与48kHz
价格	10元左右	7元左右

弟PIC16F84A大家可能都比较熟悉，同样都是18引脚的单片机，PIC16F628A的功能得到了很大的加强。通过附表的对比我们可以很清楚的看出，PIC16F628A的存储器容量、I/O端口数量、内部功能模块的丰富程度等都远高于PIC16F84A。PIC16F628A的内部振荡器方便了产品的设计，在对时钟精度要求不是很高的情况下，完全可

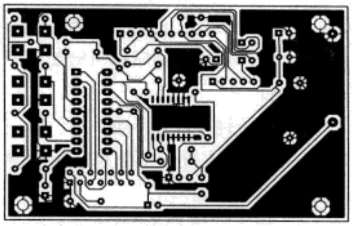


图6 电子钟的PCB

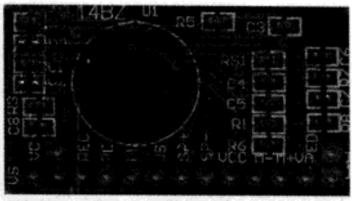


图5 ISD1110模块实物照片

以采用内部振荡器，从而减少外围元件数量，降低产品成本；在本电子钟的设计中就采用了芯片内部振荡器。PIC16F628A完全可以替换PIC16F84A，不仅前者的功能更强大，而且其价格也具有优势，不愧为“小身材，大智慧”的单片机。

3. “能说会唱”的固体录音模块——ISD1110

固体录音模块ISD1110是中青世纪科技公司采用美国ISD公司单片语音处理大规模集成电路，经过二次开发后生产的录音模块。其实物照片如图5所示。它可以录、放音十万次，最长录音时间20秒，存储的语音可断电保持100年，可以直接话筒录音，直接推动8～16Ω扬声器放音，有多种放音控制方式可供选择，为使用带来了便利。ISD1110的详细技术资料可在中青世纪科技公司的网站上查询（www.atvoc.com）。

其他元器件的选取

在原理图中，电阻R8为1W，其他电阻均选择1/8W小体积电阻，LCD为1602型液晶显示屏，S1、S2、S3、S5为按钮开关，S4为琴键式自

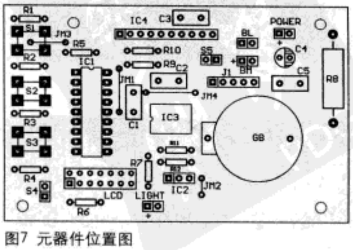


图7 元器件位置图

图8 闹钟设置状态的屏显

锁开关；后备电池为计算机主板上常用的CR2032型锂电池，扬声器为8Ω/0.5W，话筒为驻极体话筒，连接时要与语音模块上的正负极对应，J1为3.5mm立体声耳机插座，LED为直径3mm的发光二极管，直接焊在语音模块上，整机供电采用5V的外接电源，电源能够提供300mA以上的电流就可以了。

为了便于读者自制本电子钟，笔者为其设计了PCB，如图6所示。此PCB为单面布线，方便读者用热转印法制作电路板，PCB的顶层丝印层（元件位置图）如图7所示，读者可参照此图片进行组装，在图片上JM1、JM2、JM3、JM4为跳线。

使用简介

首先介绍一下各个按钮的定义，S1：进入时间调整/调整项目选择/退出调整，S2：调整值增加/进入闹钟设置，S3：调整值降低/止闹，S4：闹钟功能开启/关闭，S5：录音按钮。

1. 时间调整

按住S1不放，持续3秒钟以上，当年显示的最高位（千位）出现闪烁的光标后松开S1，这时按动S2（增加）或S3（降低）对年份值进行调整；年份值调整完之后，按动一下S1，这时月的最高位（十位）出现闪烁的光标，此时按动S2或S3对月份值进行调整，之后的日期、星期、小时、分钟的调整方法与上面年份、月份的调整步骤相同。本电子钟不对秒进行调整，当进入时间调整状态后，秒自动清零，这样便于整点对时。当分钟调整完毕后，按动一下S1，此时在秒显示的后面会出现闪烁的光标，提示用户即将退出时间调整状态，这时再次按动S1一下，电子钟将转入正常的计时状态。

2. 闹钟设置

在进行闹钟设置之前要确定S4已经按下，即开启了闹钟功能（液晶屏上显示AL字符，如图2所示），否则无法进入闹钟设置状态。

按住S2不放，持续3秒钟以上，当液晶屏上显示AL SET字符时，如图8所示，表示已进入闹钟设置状态，这时可松开S2；此时在小时的最高位（十位）出现闪烁的光标，按动S2或S3对小时值进行调整；小时值调整完之后，按动一下S1，这时分钟的最高位（十位）出现闪烁的光标，此时按动S2或S3对分钟值进行调整；当分钟调整完毕后，按动一下S1，此时在分钟显示的后面会出现闪烁的光标，提示用户即将退出闹钟设置状态，这时再次按动S1一下，电子钟将转入正常的计时状态。

当预设的闹钟时间到来时，扬声器会循环发出闹钟铃音，直到按动一下S3方可止闹。如果想关闭闹钟功能，将S4按起（断开）即可，此时液晶屏上显示的AL字符消失，表示闹钟功能关闭。

在时间调整和闹钟设置时，按住S2或S3不放，调整值会连续增加或连续降低。

3. 录制闹钟铃音

话筒录音：当J1没有插入插头时，J1的触点接通，话筒通过J1的触点接入IC4，这时按下S5，IC4上的录音指示发光二极管点亮，此时对着话筒讲话即可录入想要的语音提示。注意时间要控制在20秒之内，录音完毕松开S5即可。

线路录音：用两头都是3.5mm立体声耳机插头的音频线连接电脑的音频输出端和本电子钟的J1插座，将电脑的音量调至适中，通过播放软件播放想要选用的闹钟铃音，同时按下S5进行录音，录音完毕松开S5即可。

为了方便读者录制闹钟铃音，笔者提供了4种闹钟铃音（2种军号声、2种公鸡叫声）的声音文件供大家使用。电子钟的PCB文件、编译好的烧写文件clock.HEX、闹钟铃音文件均可从本刊的网站下载（www.radio.com.cn）。本电子钟笔者于2009年1月制作完成，至今已连续工作了4个多月，到目前为止与网上北京时间（010.58.com/cyfw/biaozhunbeijing2.shtml）校对，仅相差3秒多。

◇作者简介

本人是一所电子职业学校的专业课教师，从事电子专业课程、单片机课程的教学工作。本人与电有缘，从上小学时就开始“触电”，那时在父亲的指导下先后制作了单管机、四管机、超外差收音机，当同学们聚在我家，打开我制作的收音机，里面传出优美的歌声时，大家羡慕敬佩的目光让我感到无比的自豪，从此在“电路”上我高速行驶。在中学时期组装过黑白电视机、各种电子小制作“无数”。兴趣爱好是学习的动力，正是因为对电子技术的强烈爱好，促使我上大学时学习的也是电子技术专业，在大三时发挥自己的特长，参加全国大学生电子设计竞赛，获得了北京赛区二等奖。大学毕业后进入了现在的学校，把自己的“电量”“传导”给求知的学子。今后我会借助《无线电》杂志这个平台，与读者们一起“充电”，共同交流。

编者按

20世纪初到现在，电子管走过了从繁盛到衰落的岁月。许多80后的电子爱好者都没有玩过电子管，好像那是上个世纪里古老又神秘的东西，大多出现在我们头脑中的黑白记忆里，在电子市场也很难看到它的身影。随着科技的发展前一代的功臣渐渐变得小众化，成为了特殊应用和高保真音响圈子里的珍宝，就连我们最常见的电视机也由阴极射线管变成了平板显示屏。为了让大家重温一下电子管的魅力，本文介绍一款相对简单易制的电子管时钟，完成这款制作可以让大家对电子管的认识不再停留于纸面，从中可以学到倍压整流电路和辉光电子管驱动的相关知识。

古老与现代科技的结合——辉光电子管时钟

◎胡金祥

常见的电子钟大多使用LED数码管或点阵屏显示,本文介绍一种用辉光电子管显示的电子时钟。用古老的辉光电子管作为显示器件，带来原味风情的简约，仿佛又回到了电子管时代，别有一番韵味。制作好的成品功率在5W以下，把它摆在家里的书桌上，既美观又有特色，而且还很实用。

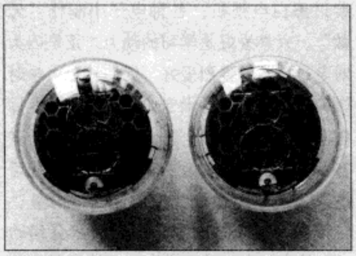
什么是辉光电子管

如图1所示，辉光电子管外形一般分为立式和卧式两种，制作时可根据你的设计方案来选择，两者的价格都在20元左右，在网上可以买到。本文采用立式辉光电子管来完成制作，辉光电子管是一种冷阴极辉光放电管，它的外形与普通电子管相似，它的内部结构如图2所示。在玻璃管内封装有十个阴极和一个公共阳极。十个阴极分别用金属丝制作成“0”到“9”十个阿拉伯数字的形状，在管芯内用陶瓷绝缘材料把它们相互分隔开并叠装在一起，十个阴极和一个阳极通过内部引线焊接在相应的管脚上。

在玻璃管内充入氖、氦和氩等惰性气体。从辉光电子管的结构可以看出它是没有灯丝的，因此管内没有电子发射，但由于环境空间存在着宇宙线、紫外线以及各种放射性物质的射线，使管内少量的气体游离而保持一定数量的电子和正离子，当在辉光电子管两端加上直流电压时，这些少量的电子及正离子分别向阳极和阴极运动，产生微量的电流。当外加电压达到适当的数值时，电子获得了足够的动能，碰撞气体分子而使之迅速电离。与此同时，正离子也高速轰击阴极，使阴极表面发射出更多的电子，这种反应迅速连锁地进行，直至管内出现有红色的辉光为止。辉光电子管除了有阿拉伯数字外（辉光数码电子管），还有字母和特殊符号的款式，有兴趣的朋友可以多买一些回去研究研究。

硬件制作

辉光电子管时钟完整的电路如图3所示，其共由4部分电路组成，分别


(a) 卧式

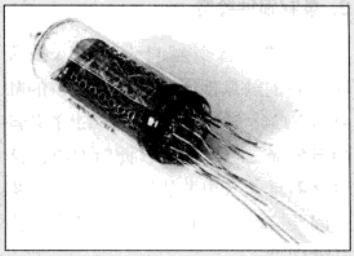

(b) 立式

图1 辉光电子管

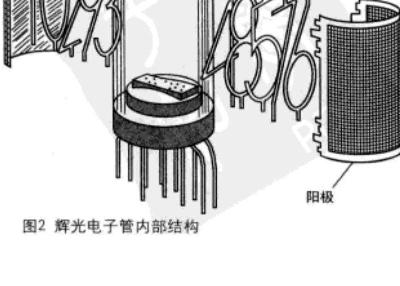


图2 辉光电子管内部结构

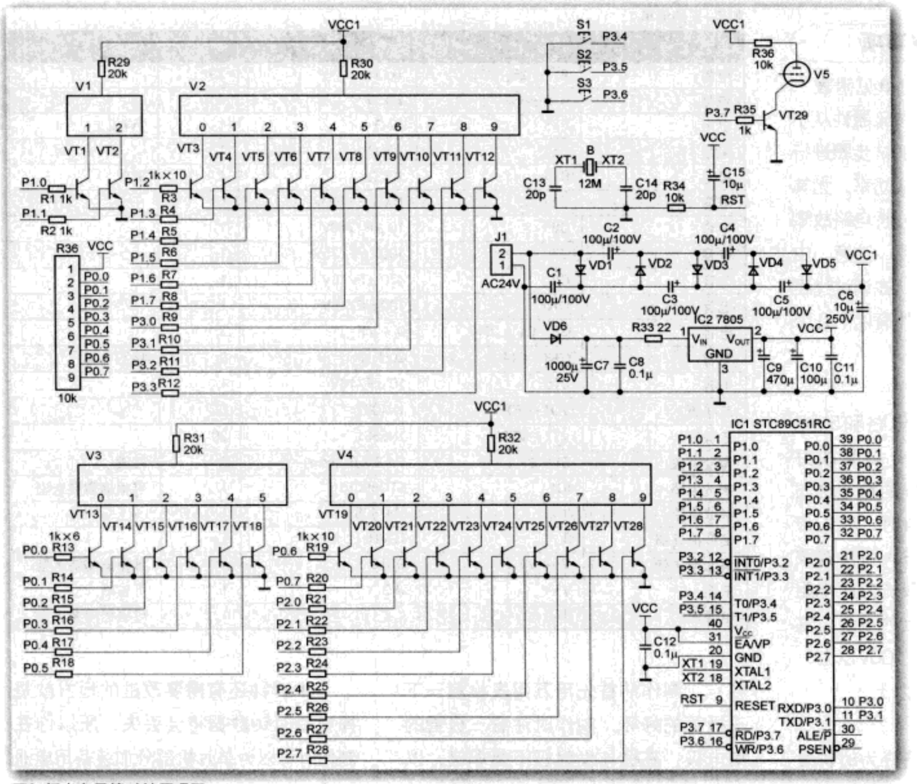


图3 辉光电子管时钟原理图

是电源电路、单片机最小系统电路、辉光电子管驱动电路、按键电路（用于设置时钟）。其中重点介绍一下电源电路和辉光电子管驱动电路。关于单片机最小系统电路及按键电路的原理，相信单片机爱好者朋友都已经有所了解，这里不再赘述。

（1）电源电路

电源电路给单片机系统提供5V的电源电压并给辉光电子管提供170V左右的直流电源。5V电源采用经典的LM7805稳压电路，相信读者朋友都已很熟悉了。这里主要讲讲24V交流电源转换为170V左右直流电源的原理。这部分电路名称叫做“倍压整流电路”，现代电子仪器设备及家用电器中，在负载不重的小电流高电压供电场合都广泛使用倍压整流电路。通过

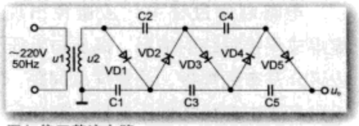


图4 倍压整流电路

整流与滤波元件的组合，即可获得变压器次级输出电压峰值二倍、三倍或更多的直流电压。倍压电路原理图如图4所示，需要更深入了解的朋友可以参见相关文章，这里不再多讲。

（2）辉光电子管驱动电路

辉光电子管引脚定义如图5所示，由图可见，在其公共端（阳极）经一只20kΩ限流电阻输入170V的直流电压，在数字位端（阴极）把需要的数字对应的引脚接地，则该数字即可发光。由于辉光电子管驱动电压很高，而单片机I/O接口的高电平电压只有5V，所以我们采用型号为2N5551的NPN型三极管进行隔离驱动。众所周知，NPN型三极管的集电极与基极间是截止的，辉光电子管的高电压不会通过集电极和基极流入单片机I/O接口。所以采用NPN型三极管即可达到辉光电子管工作的要求，又不会损坏单片机系统。如图3所示，标号V5为氖泡，用来作为两个闪烁的秒点显示，当然你也可以省去秒点显示部分。在时钟数值显示上，小时的十位只显示“1”和“2”就可以，个位的数值需要从“0”到“9”，分钟的十位只要显示“0”到“5”就可以了，个位的数值需要从“0”到“9”。所以需要单片机I/O接口控制的数值共有28个，再加上秒点控制和三个调时按键，正好完全利用了AT89C51系列的32个I/O接口，好像是为了这个设计量身定做的一样。

软件设计

本制作采用89C51系列单片机（AT89S51、STC89C51等型号皆可），电子钟的基准时钟信号是由单片机系统的时钟电路部分使用12MHz晶体振荡器所产生的，再利用单片机内部的定时器0工作在方式1，每计数50000个机器周期（即50ms）产生一次中断，中断20次就是一秒钟了，这样就可以实现精确计时的目的。在秒钟单元满60s后向分钟单元进位，分钟单元加1，当分钟单元满60m后，小时单元加1，依此类推。软件流程可到《无线电》网站www.radio.com.cn上下载。

常见问题与注意事项

电子钟所用元器件清单见附表，在电路制作过程中，如能按元器件从小到大，从简到繁的安装与调试步骤进行制作，将大大提高制作的成功率。尤其是一些初学者，还不具备分析电路故障的能力时，这一点尤为重要。注意，由于电路中存在着高压电路，在调试过程中请小心，防止电击！另外有以下几个部分在制作时需要注意：

（1）电源电路

电源电路分为高压电路和5V电源电路，电源的稳定性，质量的好坏，直接影响到整个制作的稳定性与成功率，所以在挑选材料时，我们应该选用优质的稳压器件与大容量滤波电容。5V电源电路中的限流分压电阻（R33），需选择1W以上的电阻。高压电路的倍压电容耐压为100V以上，输出滤波电容耐压为250V以上。

（2）单片机最小系统

单片机最小系统电路分为时钟发生电路和复位电路，复位电路采用RC电路，使用普通的电解电容与1/4W金属膜电阻即可，时钟发生电路选用12MHz的高精度晶体振荡器，以保证走时的精确；振荡电容选用20pF的独石电容。

（3）辉光电子管驱动电路

辉光电子管驱动电路有高压（辉光电子管部分）也有低压（单片机部分），制作前首先用万用表检测一下三极管的好坏，制作时注意三极管的集电极、基极与发射极不要焊错，以免高压串入单片机，将单片机烧坏。

电路制作过程中，应避免出现虚焊或焊接短路的情况，高压与低压应该分开布线焊接，注意焊点间距，以免高压击穿烧坏低压器件。制作完成并调试好后，便可将HEX（或BIN）文件下载到单片机中运行，在《无线电》的网站（www.radio.com.cn）上可以找到相应的程序下载。

本时钟还有需要改进的地方就是掉电后时钟数据将会丢失，所以你在制作时可以为单片机部分加装备用电池电路，以保证在外接电源掉电后时钟依然走时。读者朋友还可以进一步扩展，为这款电子钟增加秒钟、日期、闹钟、温度等显示功能，让你的时钟兼顾美观与实用。这种电子钟在市面上是很少见的，而且在精品店里的出售价格相当昂贵，一般在千元左右，可谓是物以稀为贵了。我们能用自己灵巧的双手DIY，这是多么光荣的事情呀！

附表 采购清单

类型	标号	型号	数量	备注
电阻	R1～R28、R35	1kΩ	29	
电阻	R29～R32	20kΩ	4	
电阻	R33	22Ω	1	1W以上
电阻	R34	10kΩ	1	
排阻	R36	10kΩ	1	9PIN
电容	C1～C5	100μF/100V	5	
电容	C6	10μF/250V	1	
电容	C7	1000μF/25V	1	
电容	C9	470μF/16V	1	
电容	C10	100μF/16V	1	
电容	C8、C11、C12	0.1μF	3	
电容	C13、C14	20pF	2	独石电容
电容	C15	10μF/16V	1	
二极管	VD1～VD6	1N4007	6	
三极管	VT1～VT29	2N5551	29	
微动开关	S1～S3	6×6×6（mm）	3	按键
集成电路	IC1	STC89C51	1	可根据需要选型
集成电路	IC2	LM7805	1	
晶体振荡器	B	12MHz	1	
辉光电子管	V1～V4	QS18	4	可根据需要选型
氖泡	V5	φ2	1	可省略
电源座	J1		1	可根据需要选型

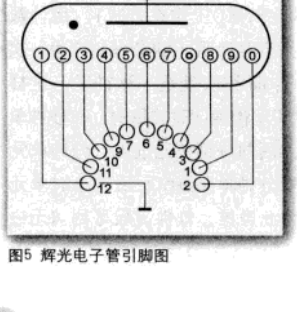


图5 辉光电子管引脚图

◇作者简介

笔者从小酷爱各种电子玩意儿，对一切电器都喜欢拆拆装装。初三开始正式接触电子，也开始小制作，凭借浓厚的兴趣，越学越有劲。在上高中时参加县“中学生科技创新大赛”，这是我第一次得奖，从此对电子的兴趣更浓厚了。大二暑假在老师同学的关心鼓励下参加了省大学生电子设计大赛，侥幸获奖。随后创办了自己的个人网站，以便结识更多的电子爱好者朋友。

我现从事单片机项目的开发工作，尤其对控制类有独到见解。相信所有的电子爱好者对电子的热爱就像老鼠爱大米一样。同时我喜欢结交同道之士，相互交流，共同进步！

遥控调光无极限 点亮台灯每一天

◎胡康

躺在宿舍柔软舒适的床上，仰望天花板，突然想到最近在网上看到网友发表的关于LED渐明渐暗控制的帖子，对呀，我何不利用这个原理做个床头小台灯呢？夜间起床开灯还要先使用手机的光亮摸到门旁的开关，很不方便。如果自己做个小台灯，一是可以练练手，提高自己的动手能力；二是比较经济实惠，经济危机票子很重要，再有个性又方便，可以根据自己的喜好制作。

想法产生了，那就得立马行动。行动之前，先大致确定一下这台灯得具有哪些特点，然后好按照这些特点来进行设计。首先，得人性化，现在世界上的电器都以人为本，这个潮流我们得追随，其次，要方便，废话了，就是因为不方便才想到做这个的，最后，还得有个性，肯定不能做得跟超市里那些又贵又千篇一律的台灯一个样儿了。怎样才能做到这三点呢？要人性化，我希望它开关灯的时候不要像一般的台灯那样灯“唰”的一下就亮了，“唰”一下就灭了。特别是晚上起床的时候，一下子亮起来眼睛会很不适应，我想让它开关灯的时候慢慢地亮，慢慢地灭，这样让人更容易适应。当然，能调光是必不可少的，要方便，开关灯的时候总要去固定的地方摸开关很不方便，我希望能很方便的开关灯，那就要用到无线遥控，只要在一定范围内，闭着眼睛我就能开关灯了；要有个性，其实前面两点就已经比较有个性了，但我还希望它能更有个性点儿，我加上了很炫的蓝色指示灯，在关掉台灯的时候又能够点缀房间。

围绕这几点，我就开始设计电路，电路的主角就是LED了，因为LED的发光效率比较高，用于台灯照明0.5W功率已经足够，所以选用了0.5W的白光LED。白光LED的工作电压约为3.3V，而电源我打算用5V的，可以直接给单片机供电。对LED来说，这个工作电压就有点高了，压力太大，工作情况就不大好，很可能会罢工的。这样还得给LED配个助理分担一下压力，这个助理就是电阻。助理也不是随便什么样的都可以，要找个合适的才行，但这个分压电阻用多大的比较合适呢？我们来算一算，0.5W的功率，3.3V的工作电压，那么电流$I=P/U=0.5W/3.3V\approx0.152A$。LED只能承受3.3V的工作电压，那分压电阻就得分担剩下的5-3.3V=1.7V电压，分压电阻跟LED是串联在一起的，所以流过电阻的电流跟流过LED的电流都是0.152A。根据欧姆定律，电阻值$R=U/I=1.7V/0.152A\approx11.2\Omega$，这是根据LED的最大电流计算出来的阻值，如果小于这个阻值，则LED的电流将会超过其最大电流，所以电阻值不得小于11.2Ω。但这种阻值的电阻是没有的，我们可以就近选一个电阻值，电阻越大，助理分担的压力也越多，LED的最大亮度也会降低。为了让LED能够最有效的工作，我们选择一个最接近11.2Ω的最小电阻，比如12Ω的就可以了。电阻值算出来了，可以给LED配助理了？好像还不行，还缺点什么，对了，电阻的功率还没确定呢。电阻的功率$P=UI=(5-3.3)V\times0.152A\approx0.26W$，根据经验，可以用功率为1/4W的电阻，如果想保险一点，用1/2W的电阻就更佳了。好了，根据这些条件，我们就可以给LED配符合条件的助理了。接下来我们还要选择一个经理来对全局进行管理，并给各部件分配任务，让其协调工作。总不能让我来管理吧，那太累了。找个经理来管理，只要接通电源，它就会卖力的为我来管理全局，水都不会喝上一口，我还不用付工资，这是多美的事儿呀，这个经理就是大家耳熟能详的单片机。这个LED台灯部件并不多，一个LED，再给它装上四个按键，再加上一个状态指示灯，就差不多了。不需要找能力比较强、能管理很多部下的经理，所以我就选择最常用的AT89C2051，已经绰绰有余了。但是问题又来了，AT89C2051只能管理最大电流为20mA以下的部下，再大他也无能为力了。而LED的正常工作电流已经达到0.152A，即152mA，已远远超过20mA，AT89C2051就不能直接管理LED了。人无完人，物也是一样啊。怎么办呢，很简单，经理可以再请一个能管得住LED的人，又能被自己所管理的角色呀，这个角色就是功率三极管。这个功率三极管如何选择呢？要求不是很高，主要就是电压、电流符合要求就可以了，其他条件都可以不用管。电压我们这里用的5V，一般我们所能见到的三极管都符合这个条件；再就是电流，LED的工作电流是0.152A，我们可以选择比较常用的最大工作电流为1A的8050型三极管。这里说明一下，根据经验，三极管的参数选择，至少要是所需工作电压和电流的两倍以上才可以，比如需要的工作电压是5V，电流是0.1A，那我们

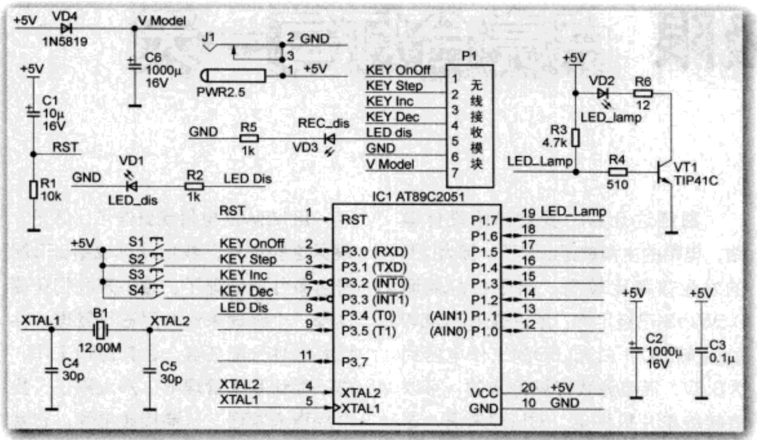


图1

使用的三极管的最大工作电压和电流就至少要是10V和0.2A以上。当然，刚才的选择就好像是给0.5W的LED量身打造的一样。为了以后方便升级，比如说我可能觉得0.5W的LED亮度不够用，想升级到1W甚至更高，那可能就不行了。所以我选择的是TIP41C型三极管，这是一款最大工作电压为100V，最大工作电流为6A的大家伙，这样就为以后的升级留有一些余量。你也可以选择其他型号的三极管，只要符合电压、电流的条件都是可以的。原来，经理请人也不是那么容易的，得考虑诸多因素。找到合适的可以管得住LED的角色，经理就可以高枕无忧了。还有个重要角色，我们可不要忽视，那就是无线控制模块，想试验无线遥控，没它不行。它是专门为单片机做外交工作的，随时将我们的遥控指令传达给单片机，我们可以选择不带锁定的遥控模块，此模块上用的解码芯片型号为PT2272，配套的遥控器内的芯片型号为PT2262，发送、接收范围在50m左右即可。要注意的是，这种模块当没接收到信号的时候输出低电平，反之则为高电平，后面写程序的时候要跟这配合好。到这里，这个LED台灯的主要成员就已经确定下来了，剩下的就是一些要求不高的普通员工，只要长相好、没有生病、看着舒服的都行。这些我就不浪费口舌了，直接上图吧。

图1是初步的电路设计图。我们看看那个叫AT89C2051的经理管着哪些家伙。VD1、VD2都是受制于它的，VD1是用来做指示灯用的，我用的是自己喜欢的蓝色灯，在关掉LED台灯后会像汽车防盗器一样闪烁，用来表示台灯已经通电，制作调试的时候也可据此来判断电源是否已经接好。对房间也是一种装饰，晚上看着很炫。VD3是接收模块的信号指示，接收到信号时会点亮。VD4是做什么用的？可能你会这么想，为什么不直接给无线接收模块接上5V电源呢？这里面是有故事的，当时我是直接接上的，但测试发现无线模块的接收距离很受影响，基本上0.5m都不到。试来试去，最后确定是模块受到了干扰。加了VD4和C6后情况就大大改善了。又没有其他地方有电磁波产生，为什么会有干扰呢？想知道为什么吗？先留点悬念，后面会为你详细解释的，请接着往下看。S1~S4是4个按键，它们就是发号施令用的令牌。想让经理帮我们完成哪些任务，都是通过它们来发令的。等等，你还沉迷于这些文字之中么？我想不会，如果是我，我的烙铁早已经烧热了。我们赶紧来看看元器件清单吧。

元器件清单如表1所示，如果你手头上刚好有这些元器件那是最好不过了，如果没有，那就快去准备吧。

准备好元器件后，你的烙铁是否已经热了？也许你早已跃跃欲试，那就按着电路图开始焊接吧!焊接的时候

表1 采购清单

标号	品名	规格	数量
C1	电解电容	10μF/16V	1
C2	电解电容	1000μF/16V	1
C3	瓷片电容	0.1μF	1
C4、C5	瓷片电容	30pF	2
C6	电解电容	1000μF	1
J1	电源插座	视电源接口而定	1
VD1	发光二极管	Φ3mm 蓝色	1
VD2	发光二极管	1W 白色	1
VD3	发光二极管	Φ3mm 红色	1
VD4	低压降二极管	1N5819	1
P1	无线接收模块排母	7PIN，2.54mm间距	1
VT1	三极管	TIP41C	1
R1	电阻	10kΩ，1/4W	1
R2	电阻	1kΩ，1/4W	1
R3	电阻	4.7kΩ，1/4W	1
R4	电阻	510Ω，1/4W	1
R5	电阻	1kΩ，1/4W	1
R6	电阻	12Ω，1/4W	1
S1、S2、S3、S4	微动开关	5mm×5mm×6mm	4
IC1	单片机	AT89C2051	1
B1	晶体振荡器	12.00MHz	1
万用板	洞洞板	5cm×7cm	1
电源	电源适配器	5V/1A	1
接收模块	无线接收模块	PT2272 不带锁定	1
遥控器	无线发射器	跟无线接收模块配套	1

要小心，虽然可能你已经听过N遍这样的提醒，但出于安全考虑，在动枪之前，我还是要提醒你：电解电容C1、C2、C6、VD1、VD2、VD3和单片机IC1等都是有正负极的，不要接反。如果你可能还是不小心接反了，没关系，到通电的时候尽可能离它远点就可以了。也许你想看看接反了会有什么样的效果，LED顶多就不亮，单片机可能会开始发高烧，而电解电容可能会像鞭炮一样“嘭”的一声，恭喜你中奖了。如果你的电解电容多，过年的时候又没鞭炮放，这会是一个不错的解决方法。焊接好的实物及其元器件全家福如图2所示。

电路焊接完毕，我们就可以着手软件编写了。前面说到要能调光，还要能慢慢亮、慢慢灭，这已经都涉及到调光了。那要如何对LED进行调光呢？因为LED的亮、灭反应速度很快，我们可以使用PWM方法来调光，这种方法效率比较高。你可能对PWM一头雾水，当年老师跟我讲这个的时候我也是一脑袋的问号。所谓PWM其实是英文“Pulse Width Modulation”的缩写，术语叫做脉冲宽度调制，简称脉宽调制。简单一点来讲，就是对单位时间内LED点亮的时间进行调整。如图3所示，比如我们将1秒分成100份，然后在每份的0.01秒时间内对LED进行亮灭时间控制。我想达到正常工作的亮度，我就在每份0.01秒的时间内一直点亮LED不灭掉，我想达到正常工作的一半亮度，那我就在每份0.01秒的时间内

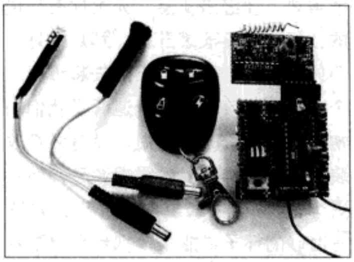


图2 实物全家福

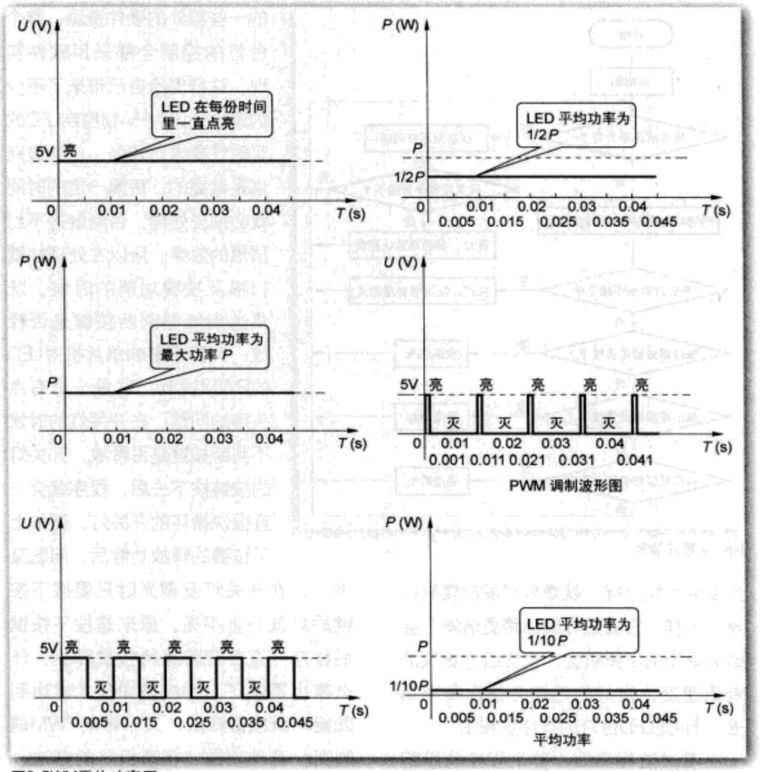


图3 PWM平均功率图

点亮0.005秒，再关闭0.005秒；我想达到十分之一的亮度时，就在每份0.01秒的时间内点亮0.001秒，再关闭0.009秒。这样即可调整LED的平均功率，平均功率越小，亮度就会越低。你可能会想，这一亮一灭的，看起来不就一闪一闪的么？当然不会，电视机的图像一秒钟才亮灭24次，你都不会感觉它在闪，更何况我们这一秒钟亮灭100次，如果你需要，我们还可以做得更快，让它一秒钟亮灭500次、1000次都不是问题。你又会问了，在这么短的时间内进行亮灭控制，有没有这么快啊？别担心，对你廉价请来的经理人来说，这只不过是小菜一碟，在完成每次的亮灭LED任务之后，他都有时间去做个足底按摩。

PWM调光的概念你了解了么？这里我再插入一点内容，揭开前面留下的悬念。因为这种无线接收模块对电源噪声很敏感，而PWM控制LED又刚好是对大电流的快速开关控制，导致电源电压出现很细小的快速波动，我们形象地称之为“电压毛刺”，而这种毛刺对无线接收模块来说就是噪声了，导致它无法正常工作，以至于接收范围大大缩小。做外交工作的无线接收模块对环境要求是如此之高，以至于我们要为无线接收模块尽量制造一个清净的环境，这项工作谁来做？于是经理请来了清洁工VD4和C6互相配合，专职负责为无线模块创造清净的环境。了解PWM调光原理后，我们就可以开始着手写程序了。写程序之前，我们先来画流程图。有些朋友可能对画流程图不太感冒，感觉是多余的，之前我也是这样想，但现在转变了。可千万别小看流程图，就像写作

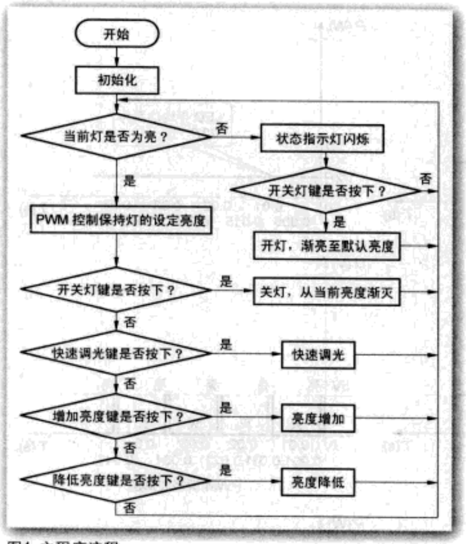


图4 主程序流程

文要列大纲一样，就像公司发展要制订规划一样，它会让你的思路更清晰，会给你更少的出错机会，也会给你更快的查错速度，良好的习惯会使你事半功倍。图4是LED台灯的程序流程图。

看过流程图后，整个程序的思路就很清晰了。我设置了四个按键分别是：开关灯键、快速调光键、增加亮度键和降低亮度键。为什么有个快速调光键呢？考虑到可能有时候想迅速调整光线，又不想长按着键调光，所以增加了这样一个按键。实际上它是将亮度从最低到最高等分成8级，然后按一次就升高一个亮度等级，到最高亮度后又循环到最低亮度开始，以这种方式来达到快速调光的目的。整个流程中就是开关灯的按键处理比较复杂一些，相当于是一键多用，每次按下开关灯键后需要根据当前台灯的亮灭状态来处理。

流程图真是个好东西，一下子就理顺了我们的编程思路，你现在是否感觉到流程图的重要了？既然我们现在思路顺畅，那就可以按流程图开始编写程序了。为了达到尽量多的学习及练手目的，我没有用到单片机内部的一些额外的硬件资源，整个台灯的控制全部采用软件实现。这样倒给自己带来了不少的麻烦，因为PWM控制LED的实时性要求比较强，任务级别也是最高的，每隔一定的时间就必须去处理，否则就达不到预想的效果。所以在处理按键扫描及按键功能的时候，既要达到能够判断按键是否释放，又要不影响单片机对LED的PWM调制。这是一个有点头疼的问题，在开关灯的时候不判断按键是否释放，开关灯的按键按下去后，程序就会一直很快循环的开关灯。而加上了按键的释放功能后，问题又来了，在开关灯及调光时只要按下按键后灯就一直不亮。原来是按下按键后程序一直在苦苦等待按键释放，什么事也不做了。那应该如何才能达到既能判断按键释放，又不影响PWM调制呢？有种叫做“状态机”的办法，其实就是在执行每个任务后给任务做个标记，将当前任务执行后的信息记录下来，然后再去完成别的任务，而不用等待一个任务完成才去执行另一个任务。这样讲起来可能你会感觉深奥，我来打个比方：煮饭好比按键扫描，烧水好比按键功能处理，而炒花生米就好比是对LED的PWM调制。煮饭可以五分钟检查一次，烧水可以十分钟检查一次，炒花生米必须半分钟翻炒一次，并且这些事情只能是一个人做。为了完成这些任务，这个人就不得不围着这几个任务转，而烧水跟煮饭都是紧急程度不高的任务，当我去处理烧水或煮饭任务的时候，当然不能等水烧开或饭煮熟我才走，半分钟之内必需去炒花生米，不然花生米早就烧糊了。于是我去处理烧水或煮饭的时候都会给自己作个标记，不管任务是否完成，作完标记就走人，还有要紧的花生米等着炒呢。如果完成了，则结束该任务，标记为完成，下一次处理任务就不去处理相关任务了，等待下一次新的任务。这就是用“状态机”来进行按键释放前的处理方法，除了最要紧的任务外，其他任务都不能花费太多时间。分析完程序的关键点，写起程序来可谓轻松加愉快，按照流程图及分析，开始动手写程序吧!我写的源程序可以在《无线电》杂志的网站（www.radio.com.cn）上找到。

你的电脑、软件以及下载器都准备好了吗？把程序编译为HEX文件了吗？在给你的经理“洗脑”之前，我还是提醒你再仔细检查一遍你的电路是否正确，否则一会儿它可能会给你意外的惊喜。为了安全，给你的电路板插上电源之前，请将它尽量放在离你比较远的地方。你通电了吗？没有意外惊喜？很好，现在你可以放心的给经理“洗脑”了。赶紧试试是否一切正常，如果前面的步骤你都认真做了，那到这里你就应该会得到应得的惊喜了，哈哈！恭喜你，制作成功。

别高兴得太早，后面还有事情要做。现在的天气还算比较寒冷的，再怎么寒酸也得给你的台灯穿上件衣服吧，这样也更能显示出你的动手能力及你的艺术创意。你可能会马上想到对现有的台灯进行改装，你很聪明，马上就想到这个方法。但看了如图5所示的照片后，对你是否有一些启发呢？是的，文章开头说到的一点很重要，要经济实惠。如果你有现成的台灯，直接改装升级，那是很好。但如果没有，我们可不能去超市买一个台灯回来改装，那就违背了我们的初衷，很浪费。要知道，没有台灯改装，我们一样可以做得很漂亮，而且更个性!马上在家里搜索一下，是否有磨砂的杯子或瓶子，把台灯电路安装在里面。因为是磨砂的，所以可以

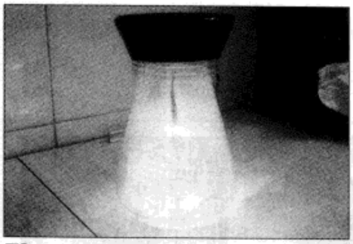


图5

遮住电路部分，不至于不美观。但又可以让光线顺利照出来，而且磨砂的质感很好。如果没有磨砂的杯子或瓶子，用透明的也可以，再在里面放些半透明的薄膜遮着。比如超市里供自己撕取的那些装水果和蔬菜的袋子，或者是像我一样，找点包装用的气泡膜放里面遮着，把电路都安装进去，最后从底部引根电源线出来。按键什么的完全可以不用管，因为我们有无线遥控嘛。这方面就要充分发挥你的艺术创意了，以上只是我的一些建议。也许你有更好的创意，做出更艺术性的个性台灯，到时候可不要忘记与我分享哦。

如图5所示，自己DIY一个这样的个性台灯放在桌子上，看起来是否别有一番风味？你是否已经为你的台灯量身定制好衣服了？加油吧!给台灯穿好衣服之后，你要做的就是在房间里找个合适的地方将它放好，然后享受一下DIY成功之后的喜悦吧！

高兴之余，我再啰嗦两句。如果你觉得还不够过瘾，还可以对你的台灯进行升级改造，让它更有个性，更有人性化，更迷人。细心的你可能会发现，每次开灯亮度都是默认的亮度不太好，因为我们需要的不是默认亮度，而是能记住我上次关灯时的亮度。下次我再开灯时的亮度就是我们上次关灯时的亮度，那该多好。这个问题你完全可以自己解决，你可以炒掉经理，请一个记忆力比较好的经理来帮你。像STC89C51系列单片机的内部自带EEPROM存储器，你可以在每次设定亮度后将亮度值保存在内部的EEPROM中，开灯的时候再读取亮度值将灯保持在这个亮度就可以了。你又可能会说，为什么要用四个按键啊，只用三个按键就可以了，一个开关灯，另外两个加、减调光键。短按键时就按八级调光模式进行快速调光，长按键时就渐变式无级调光，这样不是更好么？你还可能会觉得0.5W的LED亮度不够，你可以将LED升级到1W。按照前面所说的计算方法选取合适的元件，这就是我为什么要用大电流三极管的原因了，免得升级的时候麻烦嘛。但是功率再大的LED就不建议使用了，因为大功率的LED需要更复杂的驱动方式才能达到更好的效果、更长的寿命。另外，如果你觉得只有一个台灯功能太单调了，你想制作一个功能更强大的台灯，比如加上常用的温度、时间、日期、闹钟等功能，变成一机多用，那该多爽啊。太好了，我也有过这样的想法，并且已经将它变成了现实。我会在《无线电》上继续与大家分享！这款无线调光台灯的缺点与不足是你动手改造和升级的原动力，对于狂热的电子爱好者来说，这是非常有趣的事情。

二十一世纪家电维修的必备工具
家电维修软件“航空母舰”

启明家电维修软件

真诚回报，特惠酬宾！
确保质量，实行三包！

2009诚信金牛版集10万多种机型的维修经验和资料：有16.85万张电路图纸、70万条维修经验、30多万种元器件型号的参数、9万多条EEPROM写入器数据资料…… 通过国家版权局注册认证！确保质量，实行三包：一月内包退，一年内包换，包终身售后服务！

启明软件以先进的故障诊断技术，海量的维修资料与图纸，诚信、用户至上的经营作风，实事求是、敢于“亮剑”的宣传风格，深受新老用户的青睐，购买与升级者络绎不绝。启明软件不仅是家电维修软件的开创者，而且是维修软件新技术的引领者、庞大维修资料的拥有者。启明维修软件2009诚信金牛版继承了2008好运黄金版的全部功能，并在其基础上新增了大量新机型的维修资料（新增电路图1.8万多张，维修经验10万条，EEPROM写入器的数据8万条……），让用户在维修过程中能更高效地进行查找。

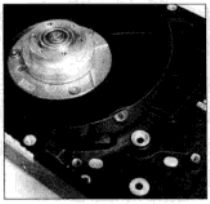
2009诚信金牛版能对240个家电产品种类、10597个品牌、100749种机型的计算机辅助诊断提供直接或间接的帮助：①它能提供各种不同的维修经验和实例70万条；②能查到16.85万张整机和单元电路图；③30多万种元件(集成块、晶体二极管、三极管、场效应管、可控硅、遥控器、行变、显像管等)型号的参数；④能速查电视机、音像制冷、通信、计算机显示器、汽车摩托车等113种家电产品种类、 634个品牌、 1万多个机型共3.4万多个整机或单元电路的工作原理；⑤EEPROM写入器(并口和USB接口)可对总线数据进行备份、擦除和改写，有9.3万多种彩电、显示器的EEPROM数据，用户能反复提取与保存各种产品的EEPROM数据；⑥具有编辑和显示用户维修经验及数据的电子笔记本（个人数据库），可将用户的维修经验、集成块和三极管数据输入保存，并可随时调出使用或修改；⑦多媒体教学讲解（电视机、手机、VCD原理）图、文、声并茂；⑧含有常用家电中英文及缩写三向互查电子词典16万条；⑨可速查多种家电维修期刊十多年的科技文献目录共15万多条；⑩具有家电维修经营管理和物流管理功能，帮助记录、统计、查询、打印家电维修经营业务和材料出入库业务，提升维修单位的管理水平；⑪确保电话和网络服务(QQ，网站留言等）时刻畅通，及时回复各种问题及咨询，解决使用软件的疑难。

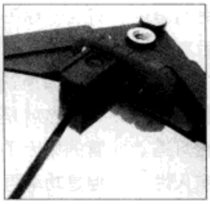
本软件分为六种版本：①电视机专版（含电视机、投影电视、卫星电视接收机、有线电视、小家电、UPS电源等）；②音像制冷版（包含电视机专版全部内容，另增摄像机、录像机、VCD、DVD、音响、空调、冰箱、洗衣机、小家电、医疗器械等）；③通信计算机版（含手机、电话、小灵通、传真机、计算机、显示器、打印机、复印机、游戏机、UPS电源等）；④专业版（包括音像制冷版和通信计算机版的全部内容）；⑤汽车摩托车版（包括汽车、摩托车、电动自行车、汽车音响的电器维修）；⑥企业版（包括专业版和汽车摩托车版的全部内容）。用户根据需要选购适合自己的版本。团购优惠，欢迎代销，免费索取软件介绍资料。

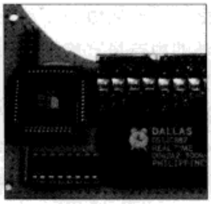
软件设计、主编：冯启明。通信地址：武汉市喻家山华中科技大学喻园小区9栋17单元1002室 冯启明（收） 邮编：430074
电话：027-87546258、87542465(兼传真)、13797049281(节假日照常服务，8：30至17：30)
QQ：1034189510、215610739、597464876、645541080、78268261。Email：fqm701@mail.hust.edu.cn fqm@qmstar.com
网站：www.qmstar.com www.qmstar.net www.启明维修软件.cn www.启明维修软件.中国 (网站上有演示版免费下载) 淘宝店：http://shop36542055.taobao.com
友情推荐和代销适合家电维修的伊万视波多功能数字存储示波器，同时购买本软件和示波器可优惠百分之五，请登录本网站或来电咨询！
请关注本刊,电子报、家电维修、家电检修、汽车维护与修理、汽车维修技师等刊物2010年最新广告和网站上发布的最新重要消息！竭尽全力,为维修服务！

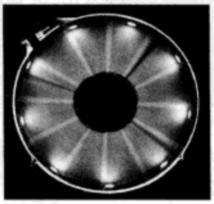
硬盘时钟实作手记

◎周正华









如今，家里有台式电脑的朋友，谁的手里没有几个换下来的废旧硬盘？除打算将这些硬盘作废品处理外，你还能用它做些什么呢？

记得一年前某一天，我在网上看YouTube 的视频时，无意中看到一段国外电子爱好者用硬盘改做时钟的视频，我立即被这创意奇特、构思巧妙的DIY作品打动了。呵呵，废弃的硬盘，居然在神通广大的电子DIY爱好者手中变成了一只超酷时尚的LED时钟。

尽管从视频中看到的硬盘时钟噪声大，而且只能在很暗的环境下看到发光的时针，我还是下决心自己也要做一个这样的时钟。

收集资料弄清原理

决定动手开始制作时，我搜遍了国内的各网站，却没有一点这方面的资料。只好借助英文翻译软件，在国外网站上找到点点零星的相关资料：

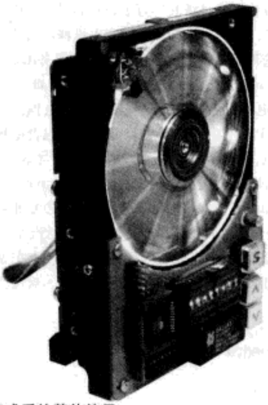


图2 完成后的整体效果

这神奇而伟大的创意最早出现在加拿大人Alan Parekh的网站（alan-parekh.com/projects/hard-drive-clock），在他的网页里首次介绍了如何将一个废旧的硬盘制作成时钟：在硬盘的碟盘上开一条细缝，碟盘下安装了2种颜色的LED，在单片机的控制下，利用人类的视觉暂留原理，产生三色光条，以此分别表示时钟的时、分、秒。

另一个美国人让这个创意有所突破，他的网站见www.ian.org/HD-Clock。他开创性地用高亮度的RGB三色LED柔性灯条作光源，不但使显示的亮度明显增加，还能产生更加炫丽多彩的动态图案。遗憾的是他的作品并非是真正意义上的时钟，时针太宽而且居然是逆时针方向旋转。

刚看到老外的硬盘时钟的视频时，我感到很好奇，待仔细思考弄明白原理后，我又感叹地称奇了。

一条高速旋转的细缝为何能产生出若干光条甚至于整个多彩圆盘来呢？

首先，这得益于人类视觉的一个特性：“视觉暂留”现象。当眼睛看到一幅图像，而待图像消失后，视觉仍能继续保留其影像0.1～0.4秒左右。电影、电视及动画都是利用了这个原理。

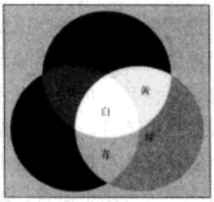


图1 三基色原理图

其次，这还需要单片机控制LED的发光闪现与旋转的细缝同步协调。也就是每当开细缝的圆盘转到特定的位置，就让LED闪现特定颜色的光，这样，就会让我们的眼睛感觉到那个位置有一光条出现。由于有“视觉暂留”现象，只要我们在几处特定的位置让LED闪现光，就会让我们的眼睛产生有几个光条的错觉。与此继续推广，产生一个多彩圆盘的道理也就不难理解了。

还需要弄明白的是，为什么三色的LED能产生七色彩光？这是根据三基色原理，如图1所示，从红、绿、蓝3种颜色的LED光的不同组合，还能产生新的4种颜色的光：

红色+绿色=黄色

绿色+蓝色=青色

红色+蓝色=品红

红色+绿色+蓝色=白色

整体设想

手上有了一些资料，同时也明白了显示原理，接着就对我的作品作粗略的规划，提出了一些原则和要求。

1. 结构上，尽量将全部部件集成

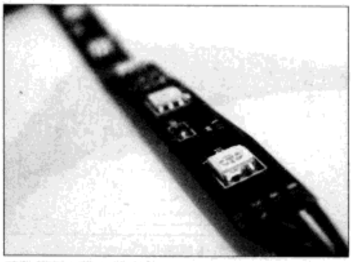


图3 RGB LED柔性光条

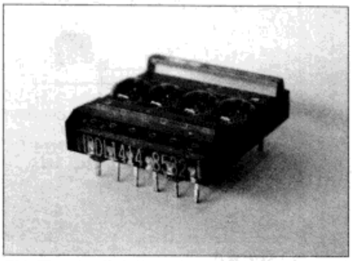


图4 用于显示信息的mini型LED显示屏

图5 时钟芯片

在硬盘的盘体上，用电脑板卡上的挡板作硬盘时钟的后撑，使作品整体风格一致，让DIY的味更浓。控制主板及LED驱动和电机驱动需两组电源（5V和12V），采用专用的电源适配器供电。因主轴电机为无刷无传感器直流电机，驱动电路制作较麻烦，就用硬盘原有的电路板作驱动。作品完成后的全貌见图2。

2. 技术技巧上力求解决好噪声问题、发光亮度问题以及指针指示问题。将时钟表盘的颜色从全黑改为发光的颜色，并在时钟盘面增加时钟刻度显示。

3. 电路及元件构成

主控芯片采用51单片机AT89S52。

发光LED采用高亮度RGB柔性光条（见图3），本身自带有背胶便于安装。LED光条的工作电压为12V，需要驱动电路，用ULN2003作驱动方便可靠。为了方便调时和显示更多信息，同时考虑到不能影响主屏的视觉中心的要求，采用带锁存功能并能显示数字和字符的mini型LED显示屏HPDL1414，见图4。

对时钟芯片的选择，一是要保证停机状态下能正常走时，二是希望对芯片读写时不受频繁中断的影响，故采用并口方式的时钟芯片DS12C887，见图5。

设置3个按键用于调时：一个“设置”键，一个“加法”键，一个“减法”键。用一双色LED作为电源指示及调时状态指示。

4. 运行分3种状态：开机、调时和走时。

开机后，显屏分别全屏显示7种颜色，然后转变为动态显示彩条。当定格在12个条时，逐渐减少颜色，最后转变为时钟状态。而相应的LED动态显示出“DIY POV LED HDD CLOCK”等字符串。

调时状态则由LED显示调整项目，并用一个LED的闪亮表示这一状态。

走时状态时，红色光条代表时针，绿色光条代表分针，蓝色光条代表秒针，用黄色作表盘底色，并且用12个白色光条表示时间刻度。

制作加工

1. 硬盘的选用

可以这样说，对硬盘的合理选择，是时钟制作成功的前提和关键。为了找到合适的硬盘制作时钟，满足制作要求，我拆的硬盘已经是两位数的量了。什么样的硬盘才算合适呢？

首先摆在面前的问题就是硬盘常转的问题，大多数硬盘接上电源后运转不到一分钟就会停下。还有一些本来是常转的，待打开盘体，拆下读写头后，却又变成转一会就不转的了。当初，为解决这一问题，我曾采取过给硬盘的IDE接口的复位端反复送复位信号的办法来解决，但这往往不能保证旋转均匀一致。后来发现实际上还是有能常转的硬盘的，只是在最初试验过程中，将主轴电机上的碟盘完全取下来了，如果安上至少一张碟盘，有不少硬盘是能保证常转的。

其次是噪声问题，在选用时尽量选择噪声小的，早期的硬盘大多达不到要求，而后期的硬盘盘体有不少是噪声小的，但又觉得转速过快，51单片机不好控制。于是我只好采取了折中的办法，用较早期能让硬盘主轴电机常转的硬盘电路板驱动后期噪声小的硬盘盘体，这样，不仅有利于51单片机的编程控制，而且也进一步减小了噪声。

最后是碟盘下面的空间的深浅问题，我选用的是较深的那种硬盘，以便于下一步LED的安装。笔者所用的硬盘见图6。

2. 碟盘的开口加工：用合适的工具打开硬盘盖，见图7，拆除硬盘内的音圈电机及其他多余部件，并将拆下

图6 选用的就是这个硬盘

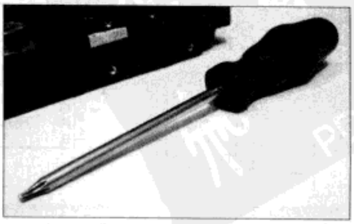


图7 “内六角”螺丝工具

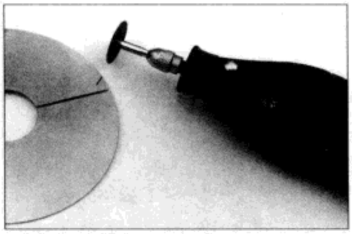


图8 开好口的碟盘及加工工具

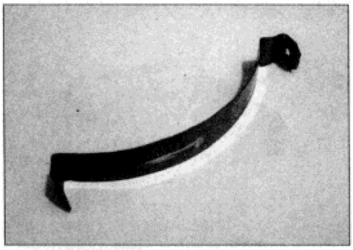


图10 加工好的铁片

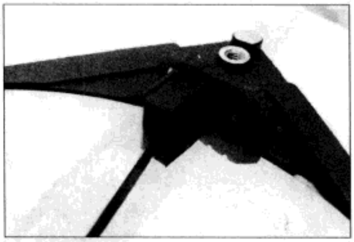


图12 安装好的光电传感器

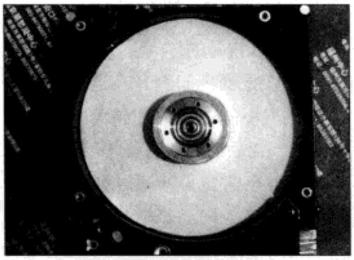


图9 用双面胶纸将纸环沾到盘体上

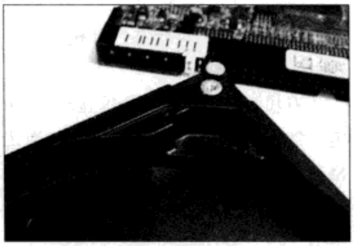


图11 这位置适合安装光电传感器

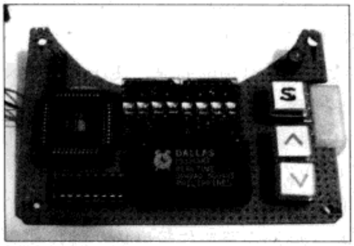


图13 电路板正面

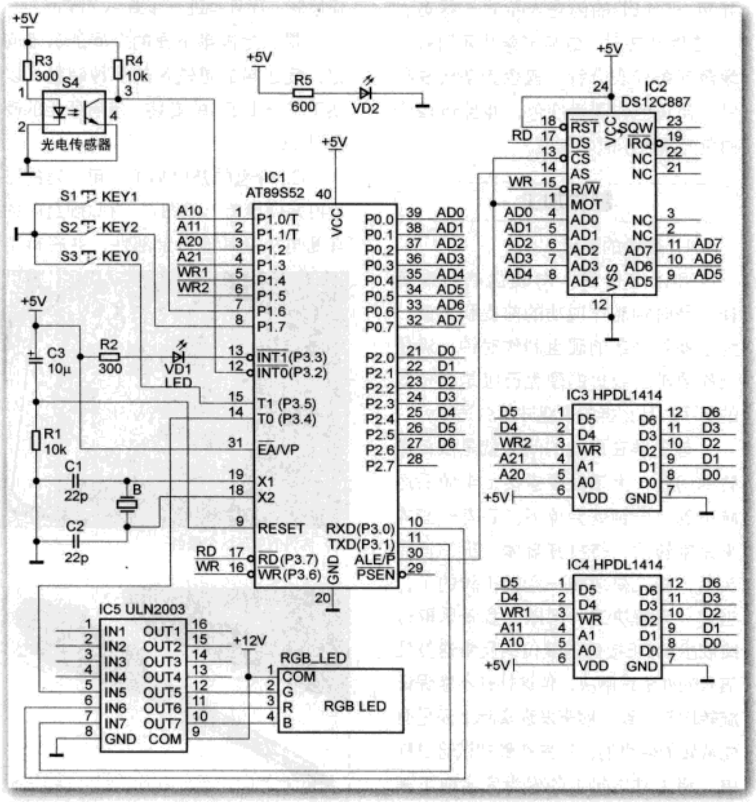


图14 电原理图

的一张碟盘进行开口加工，见图8。在对碟盘加工时，为保证碟盘外观不受损伤，我采取的方法是用多层纸包着夹在虎钳上作业，加工时要特别注意眼睛的安全。

3. 为使碟盘下的LED发光显得更亮，需在碟盘的下方贴一张白色纸片作衬底，见图9。

4. LED的安装：LED是采用的柔性光条，背面本身自带有粘胶的，粘贴起来很方便，只是由于碟盘下端空间的周边并非是一个完整的圆形，有一很宽的缺口，需用一铁皮将这圆形补充完整，以保证LED光条在碟盘下形成均匀完整的发光圈，见图10。

5. 光电传感器的安装：在硬盘盘体的左上角正好有一适合安装（槽形）光电传感器的地方，并在此钻孔作为传感器连接线和LED连接线的出口，见图11和图12。

6. 电路板制作：因电路并不复杂，直接在万用板安装焊接元件和走线。万用板形状是由硬盘盘体本身的结构特点决定的，见图13。

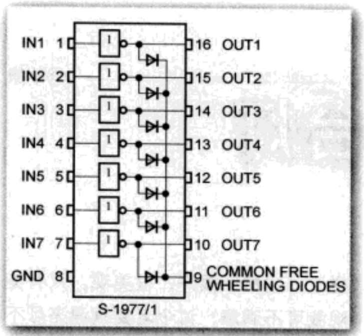


图15 ULN2003引脚定义

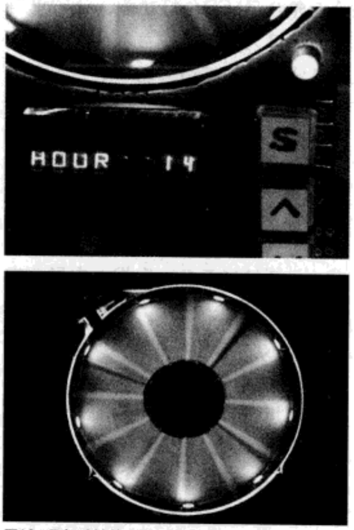


图16 硬盘时钟的各种工作状态

电路原理

电路原理图见图14，主要元器件资料如下：

1. ULN2003

ULN2003是高耐压、大电流达林顿阵列，由7个硅NPN 达林顿管组成。

该电路的特点如下：

ULN2003的每一对达林顿管都串联一个2.7kΩ的基极电阻，在5V 的工作电压下它能与TTL和CMOS电路直接相连，可以直接处理原先需要标准逻辑缓冲器来处理的数据。

ULN2003工作电压高，工作电流大，灌电流可达500mA，并且能够在关态时承受50V 的电压，输出还可以在高负载电流并行运行。引脚定义见图15。

2. HPDL1414

这种mini型LED不仅能显示数字，还能显示字符，早期多用于仪器仪表上，大小只与一枚1元硬币相当。

HPDL1414自带ASCII字库，并用锁存方式显示字符。

具体资料可查阅原厂PDF文档。

3. DS12C887

时钟芯片DS12C887与《无线电》2009年第2期介绍的DS12887是完全通用的，就不重复介绍了。

程序调试

硬盘时钟看似神奇，其实工作原理很简单，实质上就是用单片机控制LED的频闪。因此在软件的编程上并没有什么特别的地方，关键的是对一些时间值的准确把握，和如何解决短时高密度的中断之间的冲突问题。

对于前一问题，我采取了先简后繁，一步一步向前推进方法。比如先找到碟盘旋转一周的时间值，再来确定旋转一周的六十分之一的时间就方便多了。这里绝对不是简单的用60一除了之。

对后一问题，在编程上，在时间段上，尽量将各中断分散开来，并减少中断处理函数运行时间。

完整的C51源程序可到本刊网站www.radio.com.cn上下载。

制作后记

经过十多天的努力，硬盘时钟终于完工，与前面介绍的几位老外的作品相比较，在几个方面作了创新：

1. 采用便宜易找到的AT89S52作主控芯片。

2. 将开机画面与时钟显示有机结合，开创性地增添mini型LED作为辅助显示，保证显示屏视觉上的主导地位。

3. 时钟整个屏面一改过去的全黑局面，并增添了时间刻度，方便辨识，保证在室内正常光线的环境下正常使用。

使硬盘时钟真正向实用性迈进，其效果远远超出我的想象，见图16。

视频效果见：www.youtube.com/watch?v=3zh64ndyHxg&feature=channel_page或v.youku.com/v_show/id_XNzcwMDkzNjA=.html

下一步，打算将硬盘时钟在下面几个方面作进一步改进：

1. 可给硬盘时钟加盖透明的有机板，以减少噪声和避免灰尘侵入。

2. 增加热释电红外传感器，自动控制硬盘时钟的开和关，减少电能消耗。

3. 将9只高亮度LED改成12只高亮度LED作光源，在增大亮度的同时，还可作为时间的刻度。使表盘的表现更加简洁、醒目。

4. 为能更加方便随意控制主轴电机转速，让硬盘时钟更紧凑，为主轴电机另做驱动器。

◇作者简介

周正华，网名“电子古董”。从小就喜欢机械和电子方面的东西，为实现自己的梦想，辞去了十多年的教书工作，自谋职业，进入电子方面的行业。两年前从零开始自学单片机，凭借动手能力强和较好的编程功底，学习单片机过程中制作的一些“作品”放在网上后，深受大家欢迎。于是就有了在《无线电》杂志上发表文章的经历。

作为一名单片机自学者和初学者，愿和广大读者相互交流，共同提高。

我的博客：hi.baidu.com/52_diy（艺新工作室）

美观与实用的结合——能“变频”显示的电子钟台灯

◎胡康

不知你是如何被指引而翻到这一页的，也许是被这华丽的标题所吸引，也许是被上篇的《遥控调光无极限 点亮台灯每一天》所指引，或是你现在正蹲在“香”港无意中翻到这里……既然老天这么给面子，让你读到这篇文章，能否引导你轻松地将它读完那就得看我的造化了。

继台灯制作之后，你的能力是否有所提高？或者你早已挑出台灯的N多毛病并对其进行升级改造，那我的目的也已经达到。台灯的功能单一，是不是玩了一两天就没兴趣，只当作一个方便的小家电放在床头？你的欲望可不小，有欲望是好事，可以让我们大踏步向前。上篇讲到我其实想过要制作一个功能更强大的台灯，比如加上常用的温度、时间、日期、闹钟等功能，并已将这个想法变成现实。其实有这个想法也不是偶然的，当时正是杜洋老师大力推广他的3208时钟的时候，看到3208时我就想，把台灯跟这个时钟结合起来不是更完美了？一机多用，还可以节省不少成本。但感觉圆形点阵不是很美观，大家仿制的也都是圆形的，再用圆形的也没什么个性。因为液晶屏都是方形的点阵，就采用方形点阵屏，美观大方，与众不同。

好了，引用一下刘谦的说话风格：接下来就是兑现想法的时候！

电子钟的功能

我们先来看看这个时钟都有什么能耐：

◆ 24×7像素LED点阵显示[单色]

◆ 日期、时间、星期[年、月、日、星期显示]

◆ 温度[0～60℃]

◆ 闹铃[20组，可独立设置开关]

◆ LED台灯[99级亮度调整，自动亮度记忆]

◆ 走时补偿，自动较准[按天较正，范围正负25秒]

◆ 整点报时[可设定开或关]

◆ 整机声音开关设定

◆ 整屏信息切换显示

◆ 4按键操控，也可无线操控

◆ 后备可充电电池，断电依然走时

◆ 6～9V电源供电

它也就这么多能耐了，怎么样，是不是感觉比台灯功能要全面多了？目的只有一个，继续向人性化迈进。你可能会问，这个是不是很复杂啊，我能完成吗？不用担心，再复杂的东西也都是由一个个简单的东西组成的，只要各个击破就可以完成一个复杂的制作。但是你会不会看着这些功能说明很面熟？不错，这个时钟功能上跟杜洋老师制作的3208大体相似，但还是有些不同的。为了提起大家的兴趣，我特意在这里单独来讲这个时钟的独特之处，不然怎么吸引你继续往下阅读呢，当然也不会浪费你的时间。

个性的才是品牌的

前面已经提到，这款时钟是使用方形点阵屏，因为圆形点阵屏构成的笔划看起来连贯性不够好，点跟点之间是相切的，而方形点阵屏就不一样了，连贯性很好，很美观。只有美观我可不满意，讨个老婆只漂亮可不行，最好是又漂亮又贤惠，于是我就给它整合了LED台灯功能，让它更有魅力。可人心不足蛇吞象，你讨到了漂亮贤惠的老婆后可能还是会花心，身在福中不知福，这可真是一个头疼的问题。还好，有我在，想花心？嘿嘿，我再升级，教它用更聪明的办法处理事情，扫描显示屏的时候不会一列接一列地扫描，不管是否有数据显示，也不管显示多少数据。它只会在需要显示的地方显示，不需要就直接跳过不去扫描了。而且这种方法对由于营养不良（驱动功率不足）引起的面部雀斑（各点亮度不均匀）有很好的疗效，这个具体会在后面详细讲解。最后我还给它加上杀手锏，在它的背后左右分别装上一个蓝色的LED灯，工作时渐明渐暗好像会呼吸一样。这下你该死心踏地了吧？

硬件装备五大件

口水溅干，终于把全部功能特点讲述完毕，喝口水。接下来到了我们了解硬件装备的时候！我们按其功能先后来看，首先就是点阵屏，选用6×7的点阵模块，共4块拼成24×7分辨率的点阵屏。你也可以用其他方法组成24×7的屏，只要达到目的就可以。选择点阵屏要注意尽量挑选亮度高、电流小的，亮度低了效果不好，谁又能忍受整天对着一个灰蒙蒙的脸呢？选好屏之后，接下来就要考虑屏的驱动方式，为了节省口袋中的零花钱，

我们采用动态扫描的方式，这样不仅可以在硬件装备上节省我们不少的投资，电路结构上也会变得更简单。可能你对“动态扫描”不太了解，有一头的问号，没关系，带着问号耐心往下看吧，后面我会为你详细道来。

由于单片机的I/O口资源是比较宝贵的，虽然动态扫描可以节省不少I/O口，但还远远不够，所以我们还要加上串入并出的芯片来进行扩展I/O口，常用的芯片型号有74HC164和74HC595，我选择74HC164进行列驱动。但测试后发现它的电流不够，显示亮度偏低，为了节省三极管，简化电路结构，最后选用74ACT164，它的电流足够大，而且经过我的特殊扫描处理后，亮度问题迎刃而解。这样，经过74ACT164一扩展，我们就可以只用2个I/O口对24列数据进行列扫描。

接着是日期、时间、星期功能，我们有两种方法可以解决：一是用单片机进行这部分数据的运算处理，二是用专用芯片进行协助处理，相当于单片机把这部分工作外包，在需要的时候直接拿结果，而不用自己操心去处理。前者虽然可以让电路简单，但是却会额外增加单片机的程序，最大的缺点是走时不准确，也不容易做到断电依然走时，用专用芯片就不一样了，作为一个独立的部件，走时准确，不受其他部分干扰。综合这些优缺点，我们选用DS1302专用芯片来处理，走时准确、断电依然走时的功能是很重要的。

同样，温度测量的实现办法也有好多种，比如可以用热敏电阻、二极管或三极管、专用芯片等，都可以用来检测温度。热敏电阻、二极管或三极管虽然可以检测温度，但需要配合电路，进行模数转换，再经单片机运算处理才可得到温度值。而专用芯片DS18B20就省去了很多麻烦，传感器、模数转换、运算处理等都集于一体，而且精度、准确度都很高，单片机在需要的时候直接去读结果就行。

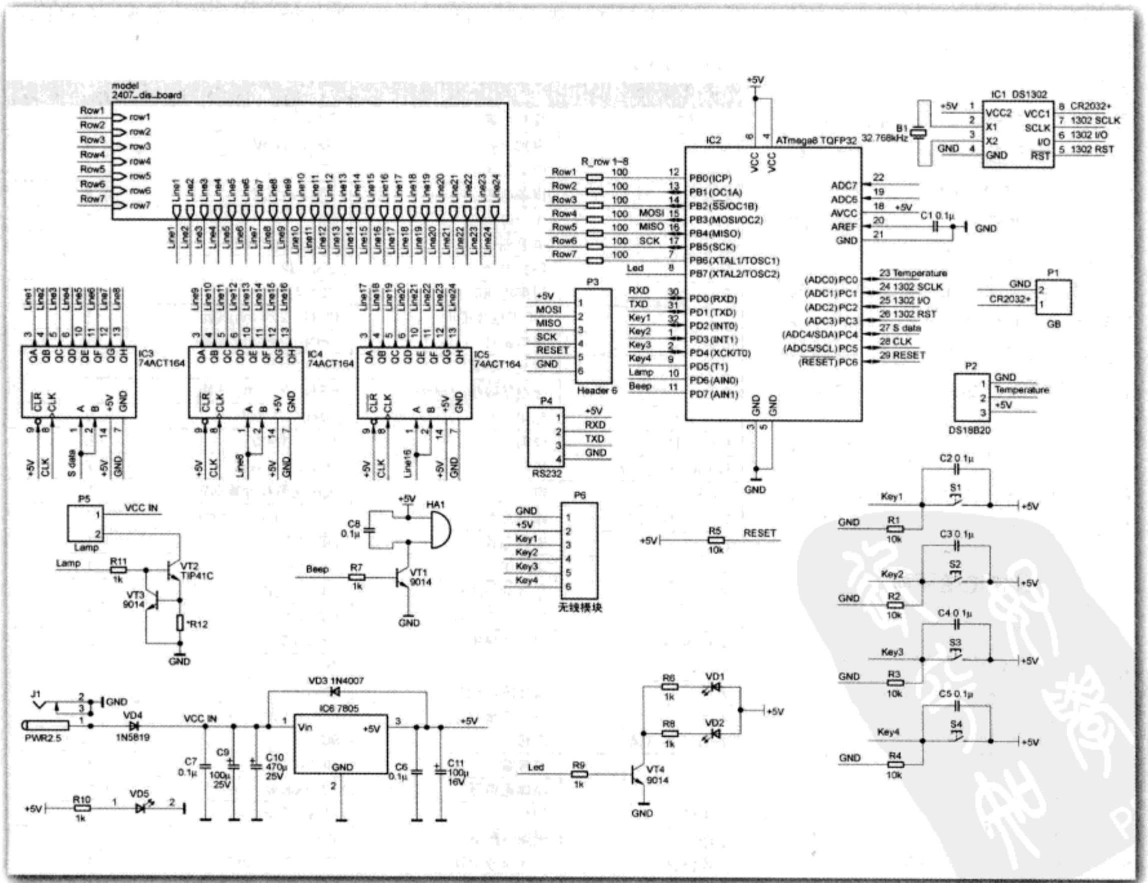


图1

至于闹铃功能就好办了，我们可以选择一款记忆力好的单片机，自带EEPROM，把闹铃设定数据都存在里面，掉电也不用怕丢失数据。或者如果选择的单片机不带EEPROM，DS1302内部还集成了31个RAM，也可以用来存储闹铃数据，只要DS1302不掉电就不会丢失数据。我们再来看看台灯功能，独立的台灯在台灯制作中已经介绍得很详细，现在只是将它跟时钟结合在一起就可以了，但是为了大功率LED的寿命，我们这次给它的驱动电路进行一下升级，搭个简单的恒流电路来更好地控制LED的工作电流，使其电流更稳定。

最后，核心出场，你是否已经猜到是什么？当然是统管整个电路的经理人——单片机是也，关于单片机的选择，各有所好，所谓萝卜白菜，各有所爱。只要符合要求，你自己喜欢都可以。这里我选用的是性价比很高的Atmel公司的ATmega8L，内置了很多常用的硬件资源，比如上面提到的EEPROM，真是价格便宜量又足！而且它还可以很方便地在电路上用下载线下载编译好的程序，而不用将芯片拔下来放到编程器上下载程序，下载完后再插到电路上那么麻烦，这对调试程序是非常方便的。

OK，几个大件我们都已确定，现在可以将电路设计出来，完整的电路装备图如图1所示。

硬件电路原理

图1是整个电路的设计图，左上角的model就是把4块6×7的方形点阵块的7条行线并接在一起组成的显示模块，共24列，由3片74ACT164进行列驱动。HA1是无源蜂鸣器，用于整机的声音提示。VT2、VT3、R11、R12组成LED台灯的恒流电路。这个恒流电路其实很简单，它们是一环套一环的，我们一步一步来推导。

首先，LED是直接由VT2来控制的，而VT2的基极又受制于VT3，如果VT3导通则VT2截止，VT2的集电极和发射极之间没有电流通过，这样LED就不能点亮，反之则可以点亮。我们再向后推一步，VT3是受R12控制的，VT3的基极电压即为R12两端电压，该电压大于0.7V时，VT3就导通，反之则截止。R12两端的电压和通过R12的电流成正比，而通过R12的电流即通过VT2发射极的电流。聪明的你是否发现，绕来绕去最后又回到了VT2？不错，整个电路组成了一个反馈回路，互相牵制着。是不是拐来拐去看得有点眼花了？呵呵，不要急，慢慢看，分析电路这可是电子爱好者的基本功，相信你一定可以分析清楚。我们发现，当VT2发射极电流变大，R12两端电压就增加，到超过0.7V，VT3就导通，VT2截止，VT2的发射极电流想大也大不了；反之，如果VT2发射极电流变小，R12两端电压也减小，小于0.7V，VT3就截止，VT2就导通，VT2的发射极电流想变小也不行，所以VT2的发射极电流会稳定在某个值。你是不是已经想到了，对，由于VT3的导通、截止的基极电压界限是0.7V，所以R12两端电压会稳定在0.7V。根据LED的功率先计算它的正常工作电流大小，这也就是要控制的VT2发射极电流，VT2的发射极电流控制到多少又要看R12的取值，根据公式$I=0.7V/R12$就可以得到R12的值了。提醒一下，计算好R12的值还不要忘记计算R12的功率哦。关于LED的

表1 采购清单

标号	品名	规格	数量
C1～C8	瓷片电容	0.1μF/16V	8
C9	电解电容	100μF/25V	1
C10	电解电容	470μF/25V	1
C11	电解电容	100μF/16V	1
HA1	无源蜂鸣器	5V	1
J1	电源插座	视电源接口而定	1
P1	纽扣电池	CR2032	1
P2	温度检测芯片	DS18B20	1
P3	ISP下载线排母	6PIN，2.54mm间距	1
P4	串口排母	4PIN，2.54mm间距	1
P5	发光二极管	1W 白色	1
P6	无线接收模块排母	6PIN，2.54mm间距	1
R1～R5	电阻	10kΩ，1/4W	5
R6～R11	电阻	1kΩ，1/4W	6
R_row1～R_row7	电阻	100Ω，1/4W	7
*R12	电阻	大小功率视计算而定	1
S1, S2, S3, S4	微动开关	5mm×5mm×6mm	4
IC1	时钟芯片	DS1302	1
IC2	单片机	ATmega8	1
IC3～IC5	串入并出芯片	74ACT164	3
IC6	电源稳压芯片	LM7805	1
VD1, VD2	发光二极管	ø3mm 蓝色	2
VD3	二极管	1N4007	1
VD4	低压降二极管	1N5819	1
VD5	发光二极管	ø3mm 红色	1
VT1, VT3, VT4	三极管	9014	3
VT2	三极管	TIP41C	1
B1	晶体振荡器	32.768kHz	1
万用板	洞洞板	视情况而定	1
电源	电源适配器	9V/1A	1
接收模块	无线接收模块	PT2272不带锁定	1
遥控器	无线发射器	跟无线接收模块配套	1

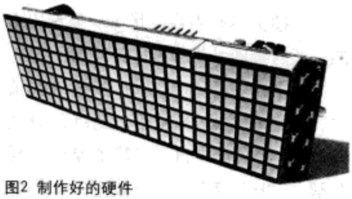


图2 制作好的硬件

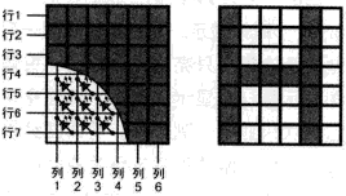


图3 点阵模块结构

相关计算在上篇《遥控调光无极限 点亮台灯每一天》里已经详细介绍过，大家可以去查阅，这里不再重复。左下角的IC6与周围元件组成+5V稳压电路，给整机供电。由于LED台灯有了恒流电路的控制，不用担心工作电压不稳定，所以LED台灯的电源没有经过稳压，直接用接入电压驱动，这样也可以让接入电压的范围增大。右上角为DS1302、DS18B20与单片机直接相连，接口电路很简单。P3为下载线接口，P6为预留的无线模块接口。轻触按键S1～S4为了兼容无线模块的电平，还是以下拉的方式接入。差点忘了，VD1、VD2就是杀手锏，蓝色的“呼吸”灯，夜间看起来很炫，由一个I/O口控制，其实它们的“呼吸”效果也是用PWM来实现的。扯了这么多终于算是把硬件大致讲完了，不知你是否已经明白，面对这么一大片文字我肯定会头晕的，不清楚没关系，多看几遍就好了，一回生二回熟。

硬件电路制作

我们看看元器件清单，如表1所示。

这个时钟电路看起来比台灯电路复杂多了，不知你是否已经学会用电脑设计PCB板，如果已经学会，你大可以利用这次制作的机会练练手，温

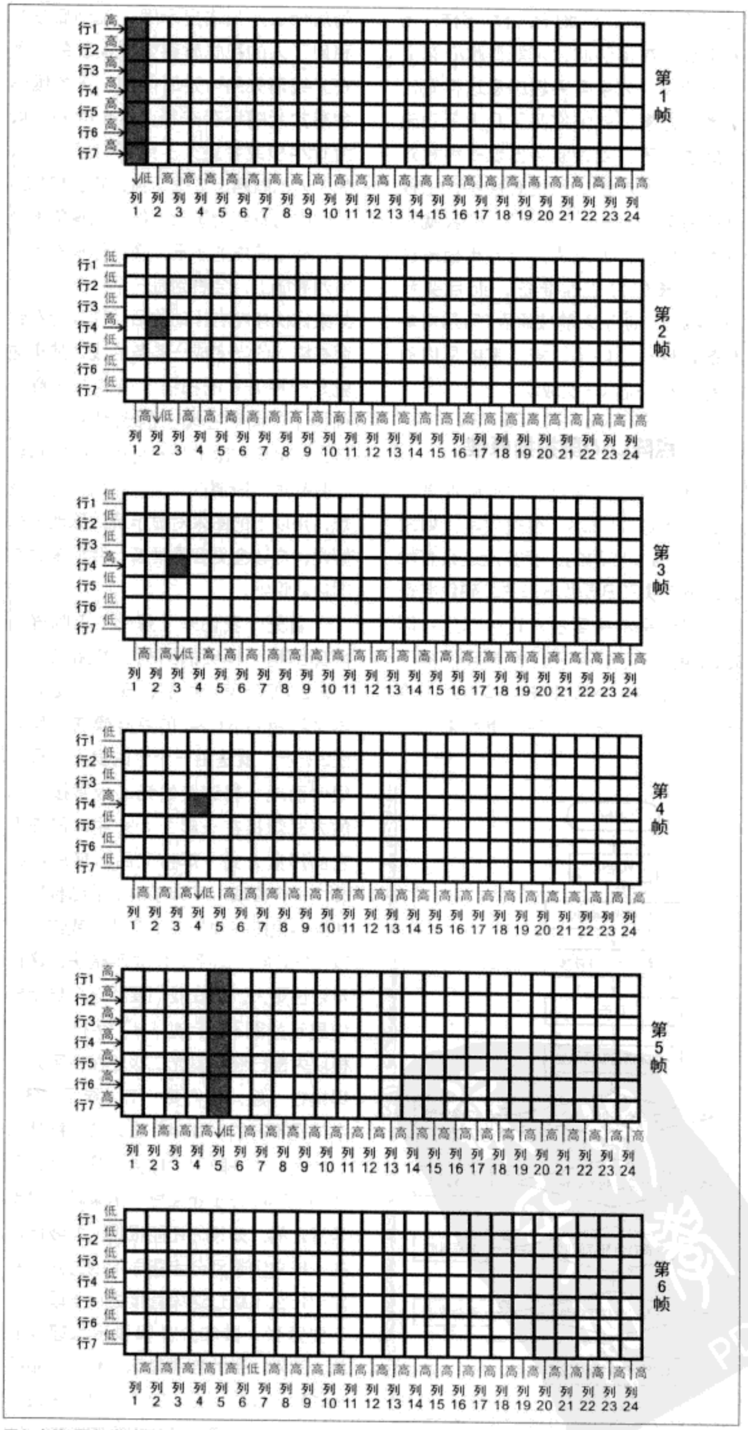


图4 点阵LED扫描过程

习一下。否则，还像LED台灯那样，用万用板来焊接仿制，可能得耐心花上几天功夫。如果有兴趣愿意这样做，那倒是好事，就怕你花了几天苦功夫焊好的板子，到时候会出现各种意外的错误，头都大了。更有甚者，把板子往角落里一扔，不玩了，那我就汗颜啦。所以，如果决定用万用板来仿制，就要做好心理准备，而且要耐心、细心。动手之前按照表1所示清单准备好材料。好了，接下来就是你动手的时候！祝你一次成功。

点阵LED屏扫描原理

漫长的几天等待，你的硬件是否已经准备好了？OK，很有效率。如图2所示，看看我焊的，我就没这么有耐心，画了块PCB板做出来的。硬件准备好了我们是不是要进入软件部分？你真聪明。不过在写软件之前我们得弄清楚扫描显示的原理及处理方法，不然写软件就会无从下手。重点来了，

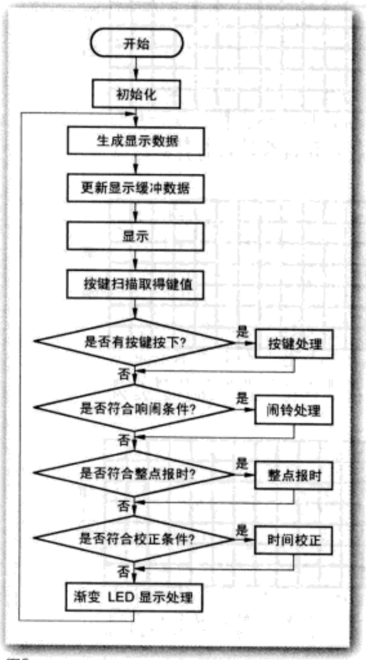


图5

到底什么是扫描显示呢？说到底就是利用了人的视觉暂留效应实现的，即在光线消失的一定时间内，人的眼睛会感觉光线还存在着，这个时间一般为1/24秒或者更久。或者你可以这么想，人的眼睛反应很迟钝，它会把1/24秒时间内看到的景象当作一幅景象来处理。举个简单的例子，晚上你拿着手电筒照着墙上，会看到是一个光斑，但是如果你快速左右挥动的话，你就会看到照在墙上的光变成一条条的线，其实这就是一种方式的扫描。虽然在任意一刻，手电筒照在墙上的光都是一个光斑，但呈现在眼前的却是线。文字写多了我都烦，所谓百“文”不如一见，我想，用以下的图来对显示屏的原理进行解说，应该会更容易理解，我们来边看图边认识吧。

首先，我们来了解一下点阵屏的内部结构，详细的结构可参阅《无线电》2009年第4期的《LED进化史》，本文所用到的6×7的点阵模块结构如图3所示，就是由一个个的发光二极管组合而成，将这些发光二极管按行列的方式焊接在一起，大家注意仔细看它的焊接方式，焊接完后，最后再封装成一个模块。了解了内部的结构后，如果你很感兴趣又不怕麻烦，我们也可以用LED自己动手制作显示模块，这样灵活性更大。现在我们要让这个显示模块显示如图3所示的“H”字符，由于模块内部已经将发光二极管按行列方式焊接在一起，我们要一下子显示“H”字符是不行的。那用什么方法才能让它显示呢？也许聪明的你会立马想到，那我们能不能分步骤来显示出来呢？答案是肯定的。如果你还能根据前面我所讲的一堆文字想到分步骤显示的方法，那你为什么不跳过这段直接去读下段呢？不要紧张，其实分步骤显示原理很简单，即刚才讲的扫描显示，利用人眼的视觉暂留效应，在比较短的时间内每次显示一部分内容，最后由于眼睛的迟钝反应，感觉这些内容就是一次显示出来的。还有疑问？带着疑问继续看图吧。

如图4所示，箭头代表电流的流向，灰色的方块代表亮起的点。总共6帧图，即显示“H”字符的整个过程图解。“H”字符共5列数据，加上字符后的空格共6列数据，我们就把它分成6个步骤来显示，从左至右一列一列地显示，每次只亮起一列数据，每幅图表示每一次显示的状态。请注意，它每次只显示一列数据。前面已经讲过，我们人眼的视觉暂留效应时间一般是1/24秒或者更久，如果是只显示这个“H”字符，那只要保证6列数据都显示完一次的总时间在1/24秒内，我们就会感觉这6次显示的画面是一次显示出来的画面。但这个时钟的屏是24列显示的，同样的道理，只要保证在1/24秒内显示完这24列数据就可以让我们感觉是一次显示出了整个画面，我们把显示完一次这24列数据叫做“刷新一次”。换个说法，就是一秒钟内能将整屏数据刷新24遍以上。就像电视的显示一样，一秒钟刷新24遍以上，我们才不会感觉画面有闪烁。是不是有点头昏脑胀呢？不用急，闭上眼睛仔细体会一下整个扫描过程，但千万不要睡着，我们还要接着往下思考呢。

程序流程

我已经绞尽脑汁用各种通俗的方法来描述这个时钟的显示和工作原理，能不能理解得看你的造化，希望到此时你已经理解。整理整理思路，我们进入下个步骤。还是那句话，保持良好的习惯，在准备动手写程序之前不要忘记流程图，根据对显示原理的了解，我们先用流程图的方式把这一过程表达出来，写程序时就会轻松得多。流程图如图5所示。

图5只是一个抽象的流程图，具体到每块功能处理又会有很多流程。框架搭好后，再向里面添砖就比较容易，

具体每块功能的流程就交给你自己去解决。在写程序之前你最好能将所有流程都整理出来，待思路清晰后再动手。否则，你可能会陷入程序的迷宫中辨不清方向，迷迷糊糊，人世间还有什么事情比这更痛苦呢？

在程序中，按键的处理是最为复杂的，你得很花一些工夫在里面，主要在按键操作之后菜单的进出和显示的配合部分，处理不好很可能会出现画面定格，整机无反应的现象，像是死机了，其实是已经进入了某个死循环。

闹铃的判断方法是在每次分钟值更新后将各组闹铃设定的分钟值与之比较，如有相同，则继续与相同的这路闹铃的小时值比较，如又有相同，则进行响闹一分钟，反之则不响闹。整点报时的实现方法比较容易一些，只需要判断小时的数据是否更新，如有更新则进行整点报时即可。

好了，现在行动起来，按照流程图与之前的分析理解，开始动手写程序吧！我写的源程序可以在《无线电》杂志的网站www.radio.com.cn上找到，也可以与我联系索取。

调试秘籍

制作这个时钟你是否会感觉我进行得一切顺利？如果是的话，那肯定是你的错觉。每个制作过程中都多少会出现各种问题，这些并不可怕，重要的是遇到这些问题，我们动力十足，有一颗持之以恒的心去解决它，不知你是否拥有这种耐性呢？在这个时钟制作中，我遇到过一些问题，其中记忆比较深刻的有几个，在这里跟大家分享一下，希望能对你有所帮助。

和你一样，当制作好硬件时，我便兴冲冲地拿着它连接好电脑，开始写屏幕测试程序，可问题接踵而至，马上打击了我的兴致。最不想出现的问题居然出现——屏幕显示有问题。只能显示前8列数据，后面的都不能显示。这是硬件问题还是软件问题呢？谁才是真正的幕后黑手？为了揭密事情的真相，我修改屏幕测试程序为单一竖条流动循环显示，发现8列以后的数据虽然不能显示，但竖条的流动时间还是花了那么多，并不是8列流动完就再从第一列开始，这说明软件应该没有问题。排除了软件，那会不会是硬件问题呢？“8”在数字电路中是一个很特殊的数字，资料总会有“8”或者它的倍数。74ACT164是一个串入并出的芯片，输出并行的8位数据，那会不会是第一块芯片的数据没有传送到下一块芯片呢？带着这个疑问我将74ACT164都加焊了一遍，再测试还是不行，我又用示波器测试了第2块74ACT164的串行输入脚，终于有重大发现，输入脚当接收到“0”数据时低电平不到位，只是稍微凹了一下，导致“0”数据不能正常传送。接着顺藤摸瓜，幕后黑手终于浮出水面，原来是因为74ACT164在回路中的内阻有点大，导致该列LED的电流流通时这个内阻分到了一半以上的电压，强行地将低电平拉高而引起不正常。能想到的硬件解决办法是增加限流电阻值以减少74ACT164的分压值，可这样做显示亮度会大大减低，显示效果不理想。硬件方面没辙了，那能不能从软件方面着手解决这个问题呢？当然可以，不然我还如何继续写完这篇文章，如何向大家交待？不知你是否已经想到解决的方法，不妨先听我说。其实做法很简单，既然是因为LED的电流引起电平不正常，那就从根本治理，在每次74ACT164的数据移位前先关闭LED的显示，移位之后重新开启，从关闭到重新开启LED显示这段时间极短，对显示的影响是微不足道的。

话虽如此，可由于LED显示屏材料和74ACT164的驱动电流问题，显示屏的亮度还是让我不能接受，而且由于驱动电流不足，导致显示亮度随每列亮起的点数不同而不同。这个问题困扰了我好一段时间，电路已经确定，想更换材料来解决问题不太现实，思路还是锁定在软件上。万能的软件，遇到问题总可以靠它来解决，这种可以节省出午餐费用的方法也总能得到我的青睐，这一次又是软件解决了问题。这是某天中午我对着它发呆时突然想到的方法，传统的扫描方法是，逐列地扫描显示，每扫描一列给予固定的显示时间，不管该列是否有点亮起，亮起的点数有多少。这样的显示刷新频率是固定的，而且很浪费资源，当某列没有点亮起的时候，为什么还要浪费这个固定的显示时间呢，在这一刻整个屏幕是处于无显示状态的。那我为何不直接跳过？节省这些时间就提高了显示的刷新频率，也间接地提高了显示亮度，真可谓是两全齐美。虽然是两全齐美，可这怎么就能够满足贪心的我，还要继续琢磨。这一琢磨又发现，每列用固定的显示时间并不科学。每列亮起的点数不同亮度也不同，因为每列共7个点，这样就有7种不同的显示亮度，亮起的点数越多亮度越低，那我为何不在亮起点数少的时候减少显示时间，亮起点数多的时候增加其显示时间呢，对应7种显示亮度给出7种显示时间。这样一折腾，又来了个两全齐美。亮度继续提升而且均匀，刷新频率又有所增加，完全响应口号“不闪的才是健康”。不知是否有朋友想到这样的方法，但我真的很佩服自己能想到这个方法，我称这个方法为“时间扫描法”。把刷新一次的时间看作一个整体，分成24×7份，传统的扫描方法需要24×7份时间，而经过我优化后的方法需要的时间理论上接近亮起的点数，屏幕上有多少个点亮起就需要多少份时间，当只有一个点显示时就只需要一份时间，刷新频率远比传统的显示方法高，是一个动态的刷新频率，套用

流行的新名词叫做“变频”显示。一不留神，扯远了，体验了一回王婆卖瓜的感受。

可别高兴得太早，显示的问题是解决了，可摆在床头使用一段时间后发现走时总是会有误差，隔三岔五的要调整一次时间，这可不是什么愉快的事儿。细心的你可能已经发现，图5所示的程序图里有个时间校正功能，到现在压根儿还没讲是咋实现的呢。到这里终于暴露出来，我还是老老实实地招了吧。时钟难免会出现走时不准的现象，对硬件上的处理调校比较麻烦，从软件上下功夫进行走时的调校是一个不错的方法，灵活性大且容易调整。实现原理比较简单，在菜单中先设定为不校正，以较准确的钟表或电视时间为标准，让时钟走时一天，观察其秒钟值的误差是多少。如果有误差则在系统菜单中设定相对应的校正值。在程序编写时设置一个固定的时间每天进行校正一次，比如晚上一点钟。到了晚上一点钟，它就会按照设定的校正值进行加或减的校正，校正的时候会看到秒值突然变化。写程序时你可千万别一定等到晚上一点钟去验证这个一天才有一次的景观，可以调整时间接近一点钟，也可以在程序中将校正时间改变。随时都可以进行验证。所谓“师父领进门，修行在个人”，方法教给了你，具体的运用还得靠自己。

至此，我已兑现上篇文章中的说法，继续在《无线电》上与大家分享了这个多功能的并融合了调光台灯的时钟。

发挥创意 锦上添花

不知上述经历对你是否有帮助，你的时钟已经工作了吗？程序是否已经调试完毕？如果还在调试中，不要着急，继续加油！如果已经成功制作，那么恭喜你！苦心人，终不负，你可以端着咖啡坐在椅子上静静地欣赏着它。

但是你觉得它很完美了吗？如果到这里就已经很满足，表示你还没有让脑子动起来，充分发挥你的想象力，让它更具有个性色彩吧！我的电子钟虽然早已摆上床头，孜孜不倦地工作数日，像大多数花心的人一样，时间久了，总会有点不满意。对于这个时钟，我已经有了许多新的改进想法，但现在还没有去实现。做完这个时钟后，发现原来很多朋友都喜欢大的点阵屏，实在是对我的爱好汗颜，但是大的方形点阵屏很少见，如果找不到，自己用方形LED制作一个这样的屏也未尝不可，玩在其中，乐在其中。倘若你是一个贪睡的人，你还可以给这个时钟加上贪睡功能。倘若你是一个重视视觉感受的人，你可以试着增加显示的方式，比如上下翻屏、流动显示等。倘若你是一个喜欢人性化的人，你不妨在闹铃功能里加上台灯控制功能，给予3种控制状态：开灯、关灯、保持，用两组闹铃就可设置一个开关灯循环，你更可以在每组闹铃里增加亮度值设置。想想，每天晚上6点天快黑下来的时候，它自动渐渐亮起，到晚上10点你快休息的时候它又自动将亮度渐渐减低作夜灯照明，清晨7点，你睁开惺忪的眼睛看到第一缕阳光的时候，它又会自动渐渐灭掉。想到这些是多么惬意，它就像一个任劳任怨的仆人永远为你服务，而你却不用担心薪水支付问题。原来闹铃不只是可以做闹铃功能，那你有没有想过显示屏也可以当做台灯来照明呢？用超高亮的白光LED自制点阵屏，当需要点亮台灯的时候就全屏点亮，这样不失为一种精简电路而节约出早餐费用的好方法。

这些想法都只是围绕生活的，其他方面有没有呢？贪心的我总是异想天开地想让它拥有尽可能多的功能而变成超强的电子制作，电子爱好者们做一些实验的时候经常会用到显示屏来进行调试，这么好的一个点阵屏不用简直是浪费，可以给它增加一个通用显示屏功能，当切换到该功能时，屏幕作为一个通用的显示屏来使用，主控芯片内置数字、字母及符号字库，通过串口通信。也可进一步用些方法进行拼屏显示，每个屏手动设置一个编号作为自己的地址，而且可以直接用上位机发送数据进行显示，这样它摇身一变又成为一个串口调试显示屏了。如果继续拿它做文章，你还可以将它变成能够自己下载显示内容的广告牌。恐怕我再写下去有人要扔月光宝盒了，当年《大话西游》的唐僧又在脑海浮现，所以赶紧停下唾沫横飞的入镜状态。

当然，这些想法可能因为一些原因而不能同时实现，萝卜白菜，各有所爱，如果你对这些想法感兴趣，不妨一试，希望你能做得比我更好，到时不要忘记和我分享喜悦哦！

◇作者简介

胡康，在湖北黄冈的土地上，于20世纪80年代的那个牛年里降生，在牛都不知道我是谁的日子里默默长大。从小就热爱电子制作，学生时代过五关斩六将，一口气从小学念到大学，并很荣幸地在大学期间拿到2005年“索尼杯”全国大学生电子竞赛省二等奖。毕业之后工作于广东深圳，在工作之余建立个人网站www.kw-dz.com，希望与各位电子爱好者朋友们交流分享！

◎秦新月

断电后还能运行的多时段开关定时器

在以前我早晨熟睡时总想有个人帮我打开电热锅电源，等醒后水已经开了，等着我去做饭。就这么一个小动作就可以节省我20多分钟的宝贵睡觉时间呀！可谁肯帮我呢？我想到了单片机。只要让它在设定的时间打开和关闭电器就可以了，于是我就做了这个开关控制器，现在已经将它完善到了12个开关时间。同时它还有其他用途，比如在限时的宽带上网时，我们总是不知不觉地超时，因为只要我们给ADSL猫供电，电信运营商就会给我们计时，如果我们用一个时间控制器让它在午夜或者不用电脑的时间段把他关闭，而在想上网的时间段自动打开，不是省了很多事？当然用它还可以控制学校的电铃、工厂的电动机等。

用单片机

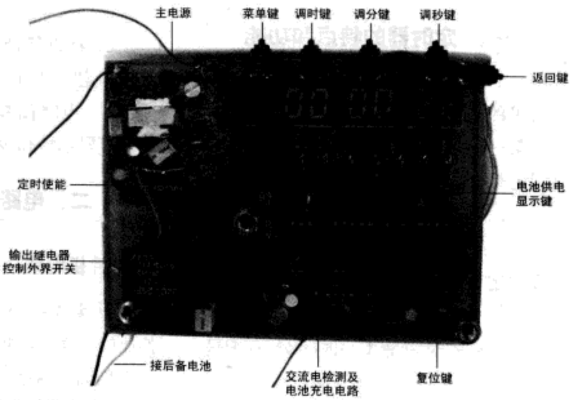


图1 实物照片

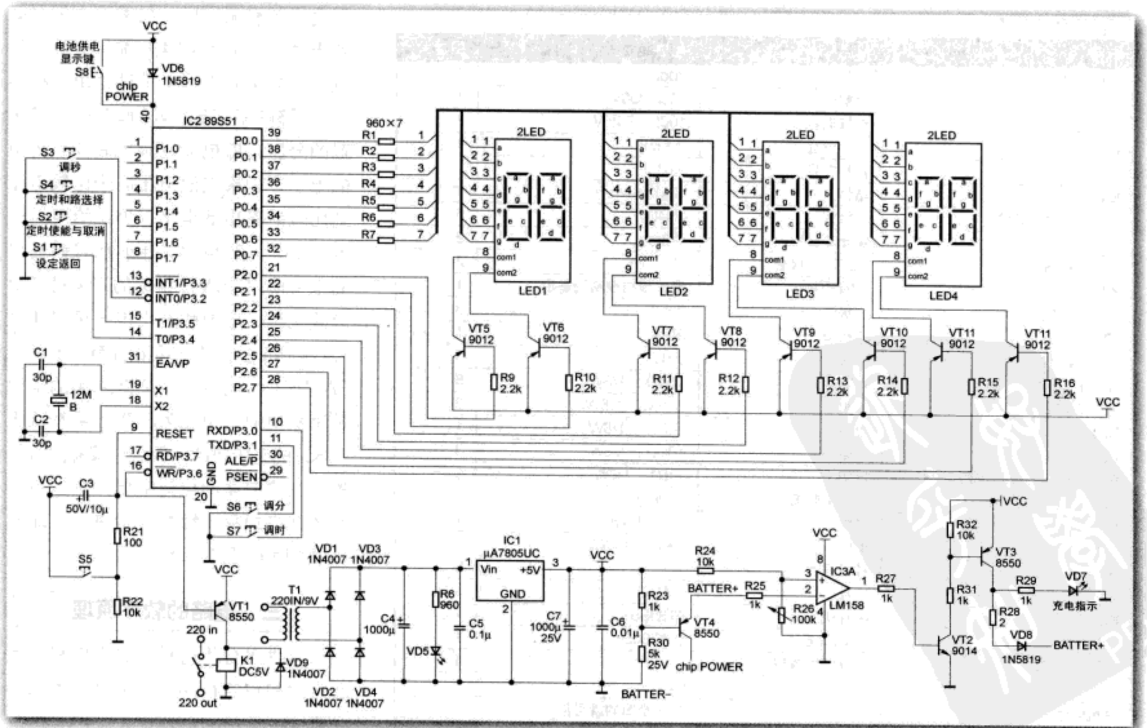


图2 硬件电路图

制作的电路有一个缺点：那就是掉电后单片机会复位，于是笔者就加了一个后备电池，它在主电源有电时不工作，保存实力，当主电源停电时它就接通给单片机供电。在主电源有电时如果检测到电池电压低，还可以通过主电源对电池充电。做好的电路实物见图1。

一、定时器的特点和功能

1. 可对外界的一路设备进行12个时段的设定及开关控制，可打开和关闭某一时段的定时，适用于电铃等在固定时段经常开关的设备。

2. 在设定时有显示指示如“01 —— —— ——”，指的是第一个时间段的定时没开，当按一下开关键后变为“01 00 00 OP”，指的是第一个时间段开启的时间是00小时00分（OP是open开的简称），这时可以按调时分的按键去调节开启时间，再次按下菜单键变为“01 00 00 CL”，这指的是第一个时间段关的时间（CL是close关的简称），同样方法可以设定关的时间，如此下去共可设定12个时间段。

3. 后备电池功能，当电池没电时自动充电，当主电源有电时由主电源供电，没电时电池供电。

4. 最短控制时间1分钟，最长24小时。

5. 按键简便，设置时，分、秒、时钟和定时是同一按键。

6. 电路简单，成本低，时钟精确，可显示秒和设定秒。

二、电路的硬件原理

1. 单片机电路

从实物图1和电路图2可见电路硬件比较简单，4块两位共阳数码管采用动态扫描的方法用8个三极管驱动，通过程序用动态扫描的方法，分别显示功能位、时、分和秒。电路共有8个按键，其中S4是菜单键，在程序内部是一外部中断，当按此键会进入中断程序，对时间和定时进行设定。S2是定时的取消和使能。S1是设定后返回，S3调秒，S6调分，S7调时，S5是复位键，S8是电池供电时的显示键，其中S2、S1、S3、S6、S7是在中断程序中的扫描键，通过扫描键的按下与否来执行其对应的程序。P3.6为继电器的开关控制信号，继电器通过三极管PNP8550来进行低电平有效驱动。

2. 主电源及电池电路

主电源用工频变压器降压后整流、滤波，用7805来稳压，也可采用开关电源。经检测MP3的充电器可提供600mA的稳定电流，用到此电路是绰绰有余。找一个不用的充电器既可以废物利用，又可以节省几块钱，何乐而不为呢？VT4通过R23、R30来检测主电源有无电压，如果没电压（即停电情况下）则VT4导通，给单片机供电，如果有电则主电源给单片机供电。另外LM158的第3脚有一个可设置的分压，即电池充满电后停止充电的电压，如果电池电压高于比较电压则比较器输出低电平，停止给电池充电。反之，当电池欠压时比较器输出高电平使VT2和VT3组成的开关打开给电池充电，电池的充电电压可以通过R26来调节。图中BATTER+为电池正，BATTER-为电池负。笔者采用的电池是手机电池，电压为3.7V。虽然低于89S51的电压范围，但经过实验是可行的。在停电期间电池给单片机供电，为了减少损耗不给数码管供电，此时要想看时间可按下S8。

三、电路的软件原理

软件可分为时钟计时程序和时间及定时的设定程序，具体可分为以下主要程序：

附表 元器件采购清单

标号	品名	规格	数量
C1、C2	瓷片电容	30pF	2
C3	电解电容	10μF/50V	1
C4、C7	电解电容	1000μF/25V	2
C5	瓷片电容	0.1μF	1
C6	瓷片电容	0.01μF	1
B	晶体	12MHz	1
VD1～VD4、VD6	二极管	1N4007	5
VD5、VD7	发光二极管	Φ3mm	2
VD6、VD8	低压降二极管	1N5819	2
K1	5V继电器	电流根据控制设备定	1
VT1、VT3、VT4	三极管	8550	3
VT2	三极管	9014	1
VT5～VT12	三极管	9012	8
R1～R8	电阻	960Ω，1/6W	8
R9～R16	电阻	2.2kΩ，1/6W	8
R21	电阻	100Ω，1/6W	1
R22、R24、R32	电阻	10kΩ，1/6W	3
R23、R25、R27、R29、R31	电阻	1kΩ，1/6W	5
R26	可变电阻器	100kΩ	1
R28	电阻	2Ω，1/4W	1
R30	电阻	5kΩ，1/6W	1
S1～S8	按键开关		8
IC1	运放	LM158	1
IC2	单片机	AT89S51	1
IC3	5V稳压器	μA7805	1
LED1～LED4	两位共阳数码管		4
T1	变压器	9V	1
手机电池		找一个旧的就可以	1
万用板			1

Microchip推出低休眠电流的nanoWatt XLP™系列单片机

◎资料室

Microchip（美国微芯科技）公司近日推出采用nanoWatt XLP™超低功耗技术，可使休眠电流低至20nA的新一代低功耗PIC单片机（MCU）系列。nanoWatt XLP技术的3大突出优势是：休眠电流可低至20nA、实时时钟电流可低至500nA以及看门狗定时器电流可低至400nA。这次新推出的三个8位及16位MCU系列，与不久前推出的另三个8位MCU系列均属于Microchip的nanoWatt XLP产品线，具有针对USB及mTouch?触摸传感解决方案的各种片上外设，为设计人员提供了丰富的、可兼容的低功耗迁移路径。这些业界领先的PIC MCU功能丰富且功耗极低，非常适用于各种电池供电或电力有限的应用。

此次推出的3个全新nanoWatt XLP MCU系列中，有一个包括4种型号的16位PIC24F16KA MCU系列。其典型休眠电流低至20nA，具备集成的EEPROM存储器，体积小巧，采用低引脚数（20引脚和28引脚）封装。此外，该系列MCU可使其应用连续运行20年以上无需更换电池。而各含6种型号的PIC18F46J11和PIC18F46J50 8位MCU系列的典型休眠电流更可低至20 nA以下。通用PIC18F46J11 MCU系列在仅28或44引脚中有着高达64 KB的闪存程序存储器，并配备了一般是64或80引脚才具备的外设设置，而PIC18F46J50系列器件则为需要远程现场升级或下载数据的嵌入式应用增加了集成的全速USB 2.0连接功能。

应用领域涵盖消费类（密封一次性电子产品、便携式白色家电、游戏控制器、数码相框和咖啡机）、工业（能量收集/采集、电表、安防系统、调温器、自动喷水灭火定时器、便携式温度控制器、远程/便携式气体传感器和远程传感器网络、数据记录和资产跟踪及密封/恶劣环境传感器）、汽车（诊断设备、汽车报警器和钥匙），以及医疗市场（家用医疗设备、氧气/生物流量计、数字体温计、患者监护仪、生活方式/健身监测仪及计步器）。

时间显示主程序、定时器中断处理程序 、加1子程序、清零子程序、调整时间子程序、中断返回程序、定时开关的设置和显示子程序、没有设置定时显示子程序、寻找定时第几段子程序、数据进入显示缓冲区子程序、定时判断开关输出口子程序、延时程序。

整个软件的运行是通过这些程序的相互调用、循环，还有中断等完成的，这些程序有助于初学者了解顺序结构、循环结构、选择结构的特点。还有在多处应用到的程序选择、调用，使语言简便明了。

四、制作与调试

要焊接这个电路很简单，想必各位电子爱好者都已有大部分的元器件了，只需把个别的找出来就可以了，发光二极管颜色、按键和万用板大小就根据自己手头而定吧，数码管大小选15mm×14mm左右，继电器一般选5A的，这样就可以控制1000W以下的电器。如果功率还大就根据用电器的电流来定，不过要留些余量哟！附表是元器件清单。

1. 软件调试

由于是用万用板焊接，在连线时可能有些不便。由于P1口是闲置的，大家注意看显示程序，P0口输出段码数据，P2口做位扫描。如果连线方便，可以直接在程序里把P0或P2改为P1，用P1口连接数码管的段数据或位选，也可以用P1口发展一些别的功能，如到时间输出音乐铃声或红外遥控控制等：

```
LOOP: MOV A,@R1
      MOVC A,@A+DPTR
      MOV P0,A
      MOV P2,3CH
      LCALL DELAY
      DEC R1
      MOV A,3CH
      RL A
      MOV 3CH,A
      DJNZ 3BH,LOOP
      RET
```

如果你手头没有共阳数码管那么就可以把TAB表数据改为共阴极的，再把数码管电路改为NPN段驱动。

2. 充电检测电压调节

等装好后，如果备用电池是3.7V的，就调节R26 使BATTER+为4V。用万用表量BATTER+，当电池电压超过4V时就说明电池已充满电，检测电路就会自动关闭充电，等电压低时电路又会给它充电。

本制作的实物视频介绍请到player.youku.com/player.php/sid/XODA1OTU5OTI=/v.swf观看，大家多提意见。

为电动车铅酸电池充电器加个智能定时插座

◎李胜

铅酸电池成本低、技术成熟、使用性能稳定、原料来源丰富、铅回收率高成为各电动车生产商的首选，与铅酸电池相对应的充电器也繁荣于市场。

目前市场上电动车铅酸电池充电器的设计方案大致有两类：第一类是二阶段式，即先恒压充电，充电电流随铅酸电池电压上升而逐渐减少（即充电电流先大后小），当铅酸电池电能补充到一定程度后，铅酸电池的电压也会上升至充电器的设定值，充电器的红色指示二极管熄灭，绿色指示二极管随即点亮，充电器自动转入第二阶段的涓电流浮充充电；第二类是三阶段式，即先恒流充电，而后恒压充电，当铅酸电池的电压上升至充电器的设定值，充电器的红色指示二极管熄灭，绿色指示二极管随即点亮，充电器自动转入第三阶段的涓电流浮充充电。

从以上设计方案可知：无论是两阶段式充电还是三阶段式充电，最后阶段都是涓电流浮充充电。实践证明：对铅酸电池适当时间的涓电流浮充充电，不仅是更进一步充足电量，更重要的是对铅酸电池的修复和保养，防止铅酸电池形成不可逆的硫酸盐化，简称“硫化”。实践验证，一般以2~3小时的涓电流浮充充电为宜，过充或充电不足都会严重危害铅酸电池的正极板，大大缩短铅酸电池的使用寿命。

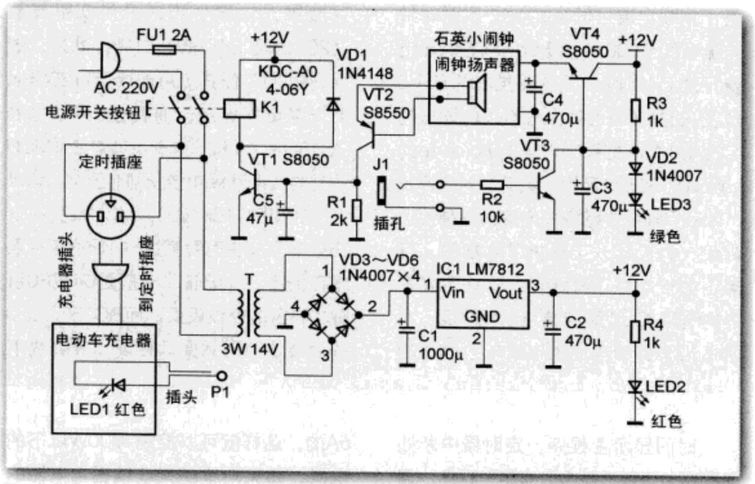


图1 智能定时插座电路图

笔者针对以上充电情况，自制了一款简易的电动车铅酸电池充电器智能定时插座，该智能定时插座能对充电器最后阶段涓电流浮充进行定时，当涓电流浮充到达设定值后，智能定时插座自动切断充电器及自身的交流电源，结束充电，不必再人工断电。

本人将智能定时插座应用于自己森地牌YBC-48L型（14Ah）充电器，深感方便。随后相继给许多亲戚朋友的充电器也设计制作了同样的定时插座，通过使用，大家都觉得既延长铅酸电池的使用寿命，也免除了天天人工断电之苦。

一 智能定时插座如何工作

智能定时插座的电路见图1，共由交流电源开关、电磁脱钩线圈驱动电路、定时电路、直流电源电路4部分组成。将该电路插上电源插头，按下交流电源开关S1按钮，接通220V交流电源即可开始工作。

220V交流电源一路经14V电源变压器T降压、桥式整流电路整流、滤波电容C1滤波、三端稳压集成电路IC1稳压、滤波电容C2滤波产生稳定的+12V直流电源，该+12V分三路输出：（1）经R4加到LED2作+12V直流电源工作指示。（2）经R3、VD2、LED3串联稳压后经C3滤波加到稳压调整管VT4基极，使VT4将+12V稳压为2.1V，由VT4发射极输出，该2.1V经C4滤波后加到石英小闹钟电源正负极为其提供直流电源

图2 元件实物图

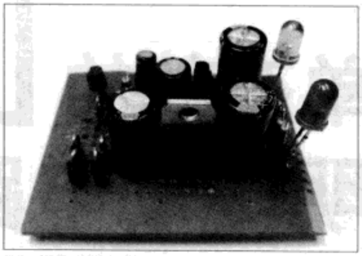


图3 焊接好的电路

图5 将充电器与蓄电池连接

（提示一点：2.1V高了些，石英小闹钟走时稍快一些,定时值按4~5小时即可）。（3）加到开关S1的电磁脱钩线圈上。

220V交流电源另一路经定时插座加到充电器，当充电器还未转入浮充充电状态时，充电器的红灯LED1得电发光，LED1两端的2V电压经插头P1、插孔J1、电阻R2加到VT3基极，VT3饱和导通，将2.1V稳压调整管VT4基极短路到地，稳压调整管VT4截止，石英小闹钟无直流电源供给而不工作，当充电器转入涓电流浮充充电阶段时，充电器红色二极管LED1两端变为零电压熄灭（充电器绿色二极管则发光），此时VT3也因基极零电压而截止，电源调整管VT4正常导通，输出2.1V直流电源，石英小闹钟得电开始计时，当计时到预先设定值时，石英小闹钟输出低电平音频脉冲讯响信号，该低电平音频脉冲信号通过VT2放大整流经电容C5滤波输出一直流电压，使VT1饱和导通，开关S1电磁脱钩线圈得电产生磁力，使开关按钮脱钩跳开，断开交流电源，从而实现自动结束充电。

二 元件选择

元件选择如电路原理图上的标注：VT1、VT3、VT4 选用 S8050 型三极管，VT2 选用 S8550 型三极管，IC1 选用 LM7812，VD1 选用 IN4148 型二极管,VD2～D6选用IN4007型二极管，LED1、LED2选用普通红色发光二极管，LED3 选用普通绿色发光二极管，R1 选用 2kΩ 普通电阻，R2 选用 10kΩ 普通电阻,R3、R4 选用 1kΩ 普通电阻，开关 S1 选用 KDC-A01-06Y 型的，P1 和 J1 分别选用普通单声道耳机插头、插孔。变压器 T 选用 3W/14V 电源变压器，C1 选用 1000μF/25V 电解电容，C2、C3、C4 选 470μF/25V 电解电容，C5 选用 47μF/25V 电解电容。实物如图 2 所示。焊好的电路见图 3。

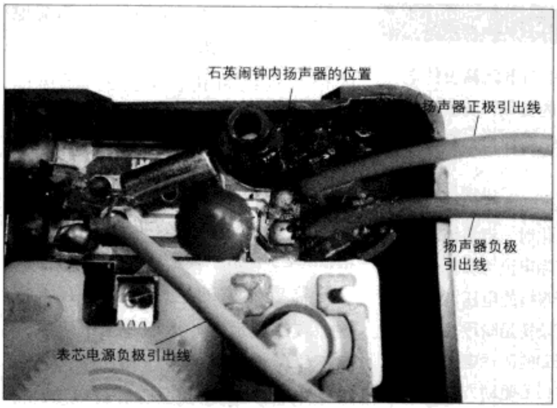


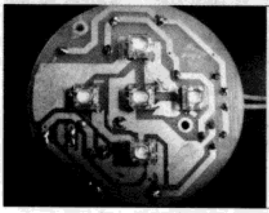
图4 石英小闹钟扬声器拆除后的接线

三 智能定时插座的安装与使用说明

笔者利用万能印制板来焊接本定时插座电路，安装时注意，一定要将石英小闹钟内的小扬声器拆除，小扬声器正极所接位置接三极管VT2发射极，小扬声器负极所接位置接三极管VT2基极，引线见图4。本人焊接成的定时插座电路与充电器连接如图5所示。

在充电前，先将定时值设好，将充电器控制信号输出插头P1和定时控制信号引入插孔J1连接好，充电器与蓄电瓶连好，插好交流电源插头，最后按下开关S1按钮，智能定时插座会自动在充电器转入浮充充电状态时开始计时，并在定时值达到时结束充电。当充电器因蓄电瓶出问题（比如过度失水）而无法转入浮充充电状态时，将充电器插头P1和定时插座间的插孔J1断开，定时插座则通电开始计时，当定时值达到时自动结束充电。

该智能定时插的突出优点是：设定值掉电不丢失，无论充电过程中停电多少次，来电后定时插座只对浮充充电累计计时，因为只有浮充充电时石英小闹钟会得电计时，也使得定时插座撇开浮充阶段以前的各充电阶段而只对浮充充电累计计时，进而达到精度充电和养护铅酸电池之目的。



简单有效的LED照明驱动电路

◎董永军　徐明奇　张雪明

随着固态照明工业领域的兴起与不断改进，发光二极管（LED）因其具有高效、节能、寿命长、环保等特点，已成为现今照明技术的可选方案，并逐渐被应用于照明。促使人们关注LED照明技术的一个关键因素是，其大大降低了能源的消耗，并可实现长期可靠的工作。

当然，采用LED照明，首先需要考虑的是其亮度、成本以及寿命。由于影响LED寿命的主要原因是其频繁启动瞬间的电流冲击，外界的各种浪涌脉冲，以及正常工作时的电流限制等，笔者在本文介绍的电路综合了这些因素，从电路设计上尽量避免大电流对LED照明灯具的冲击，并将其工作电流稳定在某一范围内，解决了目前LED照明灯具的亮度衰减问题，从而有效地延长其使用寿命。

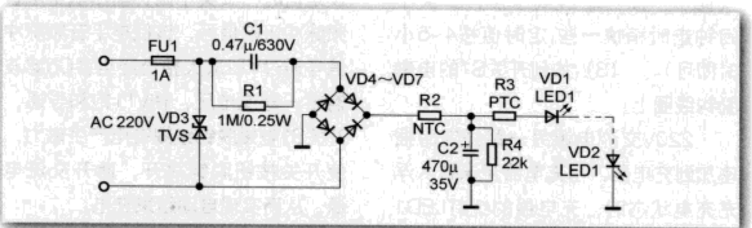


图1 电容降压式LED驱动电源

一 驱动电源

LED均采用直流驱动，因此在市电与LED之间需要加一个电源适配器即LED驱动电源。它的功能是把交流市电转换成适合LED的直流电。

通常驱动LED采用专用恒流源或者驱动芯片，容易受体积和成本等因素的限制，最经济实用的方法就是采用电容降压式电源。用它驱动小功率LED，具有不怕负载短路、电路简单等优点，而且一个电路能驱动1～70个小功率LED（但是，这种电源电路启动时的电流冲击，尤其是频繁启动，会给LED造成破坏。当然，采取适当的保护便可避免这种冲击）。

电容降压式电源的典型电路如图1所示，C1为降压电容器（采用金属化聚丙烯电容），R1为C1提供放电回路。电容C1为整个电路提供恒定的工作电流。电容C2为电解电容，其耐压值取决于所串联的LED的个数（约为其总电压的1.5倍以上），它的主要作用是抑制通电瞬间引起的电压突变，从而降低电压冲击对LED寿命的影响。R4为电容C2的泄流电阻，其阻值应随着LED个数的增加适当增加。

需要注意的是，该电路必须根据负载的电流大小选取适当的电容，而不是依据负载的电压和功率，通常降压电容$C1$的容量C与负载电流I_o的

关于LED的驱动方式

LED驱动电源按其驱动方式可以分为恒流式和稳压式。恒流式驱动电路输出的电流是恒定的，输出的直流电压随着负载阻值的大小不同会在一定范围内变化，负载阻值小，输出电压就低，负载阻值越大，输出电压也越高。对于稳压电源电路而言，其输出的电压是固定的，而输出的电流却随着负载的增减而变化。

由于LED是电流随电压变化显著的器件，当LED正向导通时，其正向电压的微小变化便可引起LED电流的巨大变化。对于稳压式LED驱动电源，当负载变化时，电流波动较大，LED在大电流下工作较长时间会损坏。实验表明，当流经LED的实际电流为其允许的最大电流的70%时，LED的发光效能为最佳。同时，由于发光二极管PN结的电压温度系数为-2mV/℃左右，当LED散热不良导致温度升高时，其工作电流也会较初始阶段有明显变化，这也是市面上各种LED产品快速老化的主要原因。显然，保证LED的驱动电流稳定对于LED的防老化显得尤为重要。因此，恒流式驱动电源是比较理想的LED驱动方式。

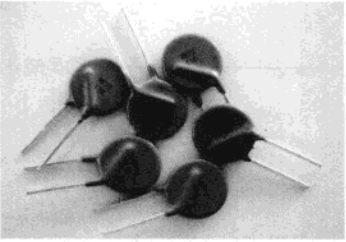


图2 PTC热敏电阻

关系可近似认为：$C=14.5I_o$，其中C的容量单位是μF，I_o的单位是A。限流电容必须采用无极性电容，而且电容的耐压值须在630V以上。

二 保护电路

由于电容降压电源是一种非隔离式电源，在通电瞬间会产生很大的电流，也就是所谓的浪涌电流。此外，由于外界环境的影响（如雷击），电网系统会侵入各种浪涌信号，有些浪涌会导致LED的损坏。而LED抗浪涌电流和抗反向电压能力都比较差，加强这方面的保护也非常重要，尤其是有些LED灯装在户外（如LED路灯）。因此LED驱动电源要有抑制浪涌的侵入、保护LED不被损坏的能力。本电路用负温度系数热敏电阻来限制电流的突变，利用正温度系数热敏电阻自动调节电流大小，使之趋于某个特定的变化范围，同时在电源输入端并有瞬态电压抑制器以避免电压过载。

（一）负温度系数热敏电阻保护

负温度系数热敏电阻简称NTC热敏电阻，NTC是Negative Temperature Coefficient 的缩写，意思是负的温度系数，泛指负温度系数很大的半导体材料或元器件，限制浪涌电流的最简单有效的方法是在线路输入端串联一只NTC热敏电阻，如图1中的R2。由于在冷启动时，NTC热敏电阻呈现高阻抗，因而使浪涌电流得到限制。而当电流的热效应使NTC热敏元件的温度升高、NTC阻值急剧下降时，对系统的电流限制作用会较小。由于NTC热敏电阻在热态下的阻抗并不是零，故会产生功率损耗，当然，这种损耗是很小的。

（二）正温度系数热敏电阻保护

正温度系数热敏电阻PTC（Positive Temperature Coefficient）是指在某一温度下电阻急剧增加、具有正温度系数的热敏电阻。为使电路中的电流在正常工作下趋于稳定，本电路还采用了PTC热敏电阻（见图2），如图1中的R3。电流通过PTC热敏电阻后引起温度升高，即发热体的温度上升，当超过居里点温度后，电阻增加，从而限制电流增加，于是电流的下降导致元件温度降低，电阻值的减小又使电路电流增加，元件温度又升高，周而复始，因此具有使温度保持在特定范围的功能。

正常情况下，PTC元件串接在电路中，呈低阻状态，保证电路正常工作；当电路发生短路或窜入异常大电流时，PTC元件的自热使其阻抗增加把电流限制到足够小，起到过电流保护作用。当产生过电流的故障得到排除，PTC元件自动复原到低阻状态。既避免了维护更换，也避免了可能引起电路损坏的持续循环的开闭状态。

（三）瞬态电压抑制器保护

瞬态电压抑制器（Transient Voltage Suppressor），简称TVS，是在稳压管基础上发展起来的一种高效保护器件，主要用于对电路元件进行快速过压保护。当TVS管两极受到反向瞬态高能量冲击时，它能以10～12s量级的速度将两极间的高阻抗变为很低的阻抗，吸收高能量的浪涌，将两极间的电压钳位于一个预定值，保护电子线路中的元器件免受各种浪涌脉冲的冲击而损坏。

对于过压保护这一方面，本电路就是在电源输入端并联了TVS，如图1中的VD3，这样可以将电压维持在TVS最大承受范围之内，当出现电压高于TVS击穿点的过压现象时，可以让电流流经TVS，借此保护LED照明灯具。

实验表明，将指针万用表串入电路后，在电路通电瞬间，指针突然偏转大角度的现象得到明显的改善，有效地防止了浪涌电流对LED的冲击。同时，启动一段时间后，电流有所下降，并逐渐趋于稳定。在器件的选用方面，用1W的金属膜电阻或线绕电阻代替NTC也可达到要求，过压保护选用TVS或者压敏电阻均可。在线路板设计方面，需要注意的是，高压输入部分（即电源输入端到整流桥部分）应尽量远离后面的负载电路，而且在允许的情况下，高压输入部分导线间的距离应保证在1mm以上。基于这些方面的考虑，笔者设计了如图3所示LED照明灯具，此照明模块已经连续工作了4年左右，亮度未见有所衰减，而且未经任何维护。此电路易于推广、普及，可广泛应用于公共照明、走廊、仓库等。

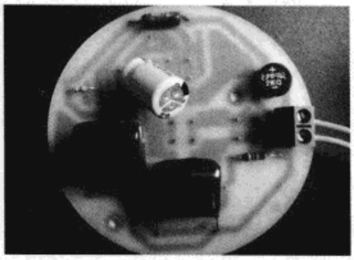


图3 笔者制作的照明模块

单颗LED大功率手电筒的制作

◎吴晓燕

目前市售LED手电筒大多是采用多只直径为5mm的LED组合成一个灯头，用3节AAA电池供电，有的手电筒采用3只、6只或9只0.5W的草帽LED组合，用充电电池供电。实际上这样的手电筒的实际使用效果并不理想：由于没有反光碗，利用LED自身透镜散射角大，发出的光线散射不能照远；再者采用的LED发光效率不高，为增加亮度只有增加LED数量，从而加大了电能的消耗；电路又采用串联电阻的驱动方式造成一部分电能浪费在电阻上，电池电压降低后，LED亮度衰减也很明显。鉴于传统LED手电筒的这些缺点，采用单颗大功率LED制作的手电筒则可以扬长避短。

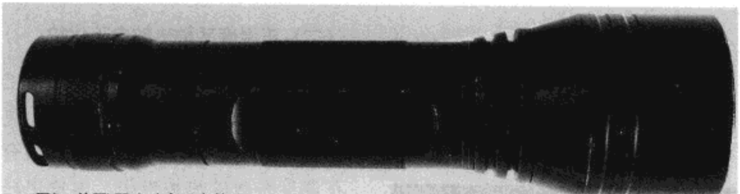


图1 单颗LED大功率手电筒

图3 锂电池

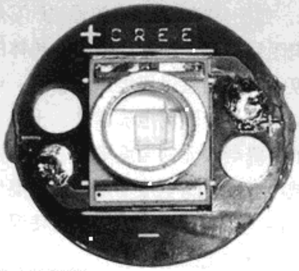


图2 大功率LED

单颗LED大功率手电筒是以单颗发光二极管（LED）作为光源的一种新型照明工具，它具有省电、耐用、亮度强等优点，可用于夜行、登山、野营、医用、维修等。但目前这种手电筒价格在几百元到几千元不等，而且平时市面上难以见到。本人自己制作了一款单颗LED大功率手电筒，成本只有几十元，且使用效果很不错，制作完成的手电筒如图1 所示。

表1 不同级别LED亮度范围

级别	最小亮度 350 mA (lm)	最大亮度 350 mA (lm)
M2	39.8	45.7
M3	45.7	51.7
N2	51.7	56.8
N3	56.8	62
N4	62	67.2
P2	67.2	73.9
P3	73.9	80.6
P4	80.6	87.4
Q2	87.4	93.9
Q3	93.9	100
Q4	100	107
Q5	107	114

一 LED的选择

现时的大功率LED的功率有1W、3W、5W、10W等，综合亮度、续航时间及散热等因素，3W是最合适的选择。由于电池电能有限，所以发光效率是首先考虑的因素，目前这方面比较前沿的有美国lumileds、CREE及韩国首尔半导体(Seoul Semiconductor)的产品，综合考虑后笔者决定选择CREE公司的XLmap 7090 XR-E系列的白光LED，该系列LED根据发光效率又分几个级别，如表1所示。

表中列出了不同级别LED在350mA电流驱动下的亮度范围，该系列LED驱动电流在350mA～1A，在350mA时发光效率最高可以达到100lm/W，随着电流的增大发光效率

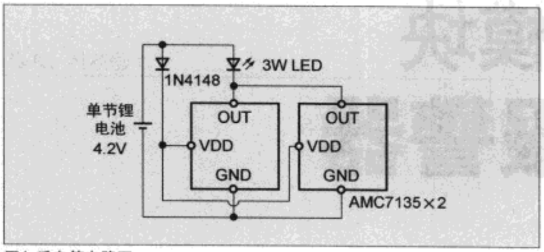


图4 手电筒电路图

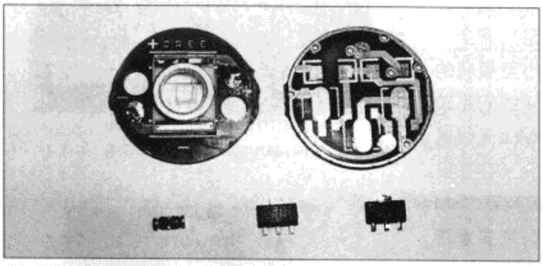


图5 手电筒电路板及元件

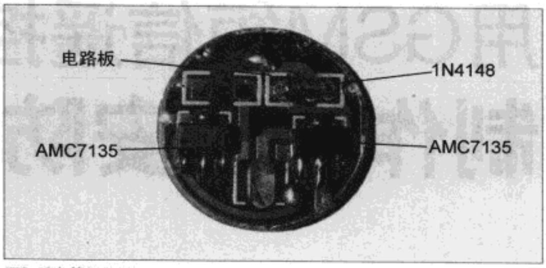


图6 手电筒组装图

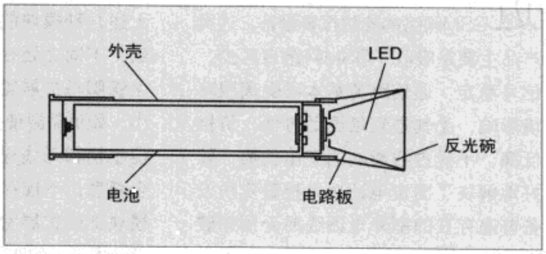


图7 手电筒电路板

逐渐降低，其最高级Q5在1A电流时亮度可以达到220～240lm，当然级别越高价格越高，性价比较好的P4价格在十几元，级别最高的Q5要40元，可以根据具体情况来挑选合适的LED。大功率LED实物如图2所示。

二 电池及电路

大功率白光LED的工作电压一般为3.3～3.9V，使用一节锂电池驱动是非常合适的，并且锂电池体积小，容量大，可以获得更长的续航时间。笔者考虑后决定使用CR18650工业锂电芯（18代表电池直径为18mm，650代表长度为650mm），容量可达2600mAh，在电子市场很容易买到，如图3所示。锂电池充电器可以用市面上的手机万能充电器加一电池盒改制。

附表

ADD MICROTECH CORP.　AMC7135 超低压差稳流器

性能特征
无需任何外部元件
350mA恒定电流输出
输出短路/开路保护
低压差
低静态电流
内建过热保护
电源电压范围2.7～6V
2kV静电保护
先进的双CMOS工艺
SOT−89和TO−252封装

电路使用AMC7135（性能特征见附表），在本制作中使用了2颗AMC7135并联驱动LED，电流700mA（也可以选用3颗AMC7135，电流1A，但这样LED发热会很明显，而且多出的亮度人眼很难看出差别，并造成电能的浪费），电路中1N4148是为防止电池反接烧毁IC。整个电路只有3个元件，电路如图4所示，元件实物如图5所示，非常简洁。电路板可使用双层板自己制作，也可以选用成品电路板。本人选择成品电路板，将AMC7135、1N4148按图6所示直接焊接在电路板上即可。

三 组装及调试

手电筒外壳选用成品手电筒外壳，这样的外壳多由铝合金制作，可以很好的为大功率LED散热，也很耐用。大功率LED属于点发光，所以要搭配合适的反光碗。发光碗有两种：一种反光面是橘皮的，一种是光面的。橘皮碗照出的光斑柔和，散光适合照近；光面碗光束比较集中，适合照远，可以根据需要自己选择。

手电筒组装顺序如图7所示，电路在焊接组装过程中要快，特别是LED的焊接要少使用助焊剂，以防助焊剂的烟颗粒污染了LED的透镜。LED与金属座之间要使用导热胶粘牢，以保证LED的散热。

手电组装完成后，检查有无短路，不用做任何调节，通电就可以使用了。

用GSM短信遥控模块制作家居安防报警器

◎苏林　许岩

近年来，市场上出现了许多依托GSM网络的安防报警设备。这类产品主要是吸收了GSM网络盲区少、信号稳定，通信距离基本不受周围环境影响，尤其是短信灵活方便、价格低廉，不受占线影响的突出优势，较好地解决了固定电话拨号报警安防设备普遍存在的室外电话线易受预先破坏、接警电话占线时无法拨入、不能获取警报内容详情等诸多弊端。笔者使用了一种可供二次开发的GSM短信遥控报警模块——JB35G系列GSM模块，无需外围单片机，可以很方便地用来制作机动车防盗报警器、家居防盗报警器、机房监控报警器等。本文介绍如何使用该模块制作家居防盗报警器。

电路可实现的功能

来电号码过滤、安防监控报警、远程监听现场、紧急情况求助、遥控解防设防、远程遥控家电。

需要准备的元器件

本文用到的元器件详见表1。其中，核心器件为GSM模块，采用JB35G-A型模块（如图1所示）。读者也可根据个人需要，选择体积更小、电压更宽、功耗更低的JB35G的后续产品（如图2所示）。后续产品中，B、C型模块的管脚与A型模块完全兼容，可以直接代换。考虑到GSM和CDMA不同网络间通信费用比较高的问题，如果你和家人的手机为CDMA网络的，则建议使用F、G型的CDMA模块。上述几种模块的管脚定义完全一致，不同之处在于超小型模块的主管脚与扩展管脚之间的间距较小。如果需要使用315MHz无线遥控手柄和无线报警探头（存在安全隐患，不推荐），因用到GSM模块上的扩展管脚，则需要重新设计本文中的印制电路板图。

常见的有线式报警传感器探头如图3所示。从左至右分别是：有线门磁探头、有线幕帘红外探头、有线扇形红外探头、有线火灾烟雾（燃气泄漏）探头。制作过程中，各种报警传感器探头应实际需要予以选配。如防盗门、保险柜等一般使用有线门磁探头，窗口一般使用有线幕帘红外探头、阳台和客厅一般使用有线扇形红外探头、厨房使用有线燃气探头、卧室使用有线烟雾探头等。

读者还可以选择高响度报警器，主要用于现场阻吓盗贼，选择时注意保证额定工作电压与系统电压相同即可。如图4所示。该高响度报警器红色线接电源正极、黑色线接电源负极，根据绿色引线接法的不同（悬空、接电源正极、接电源负极），有“警笛音、救护车音、安防音”等3种音响模式可供选择。如果实际工作环境中，不需要在现场进行高响度报警对盗贼进行阻吓（比如需要在现场抓获盗贼），则该器件也可以省去。

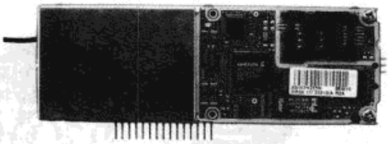


图1 JB35G—A型GSM模块实物外观图

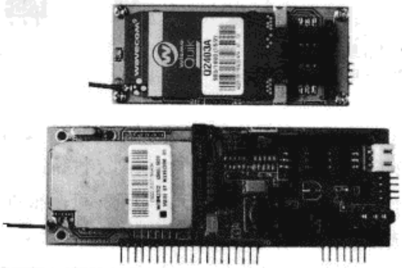


图2 JB35G型模块后续系列产品实物图

图3 常用有线报警式探头

用于驱动高响度报警器的继电器

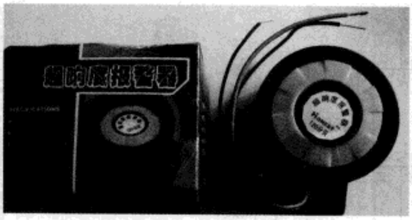


图4 高响度报警器实物图

使用小型的JRC4100即可，而用于家电远程遥控的继电器，则应根据家电负载大小等情况进行选配，并保证其额定工作电压与系统电压相同即可。

电路工作原理

电路原理图见图 5 。JB35G模块的EN引脚（第20脚）用来控制系统的设防和解防，当EN接高电平时，系统处于设防状态，有线或无线报警传感器如果被触发就立即向外报警，当EN接低电平时，系统处于解防状态，有线或无线报警传感器即使被触发也不向外报警。

JB35G模块的S1～S8引脚是8路有线报警传感器输入端，用来接驳各种有线报警探头。其中，S1～S3为下降沿触发、S4～S6为上升沿触发，S1～S6输入端受系统设防/解防控制，S7为下降沿触发，开机后即永远设防，一般用于接火灾或燃气泄漏探头，S8为下降沿触发，开机后即永远设防，一般用于接紧急按钮，并对应两条报警短信内容（可向不同手机发送不同短信内容）。输入端电压跳变边沿触发报警的工作模式，可以有效避免同一报警内容多次重复发送的问题，如防盗门被撬开时，则只在被撬开瞬间向各个受警手机发送一遍短信，或是拨打一遍各个受警手机。之后，系统就重新进入待机状态，等待房主远程遥控指令或是其他报警探头发来的报警信号。为方便后期制作和安装，对每一路有线报警通道都采取“+12V、信号、+5V、地”的四线制统一接口。

J1～J8引脚可外接8路继电器，当模块收到遥控命令时，可通过这些继电器控制外部电器的开关。其中，当模块接收到经过系统认证（通过软件设置）的手机或座机来电振铃时，J8引脚状态会翻转。在家居安防报警系统中，由于设防/解防操作比较频繁，选用免通信费的控制方式就显得尤为重要。将J8引脚与EN引脚直接相连，即可利用J8引脚的这个特点，在模块未自动接听前挂断电话，由于通话双方都未进入通话状态，却能达到遥控的目的，从而实现完全免费的设防/解防控制。

VT1及其外围电路构成了系统状态指示电路。当系统处于设防状态时，EN引脚为高电平，LED2（绿）熄灭，并迫使VT1导通致LED3（红）点亮，表明系统处于设防状态；当处于解防状态时，EN引脚为低电平，LED2（绿）点亮，VT1截止致LED3（红）熄灭，表明系统处于解防状态，当系统处于登录注册或发送短信，拨打电话等过程中时，BUSY引脚输出高电平，迫使LED1（黄）熄灭，表明系统处于登录或告警状态，当系统处于待机状态时，BUSY引脚输出低电平，迫使LED1（黄）点亮，表明系统处于待机空闲状态。

JB35G的J1引脚接微型继电器K1，用来控制一个高响度报警器的通断。可通过系统自带的软件设置为有声报警模式或无声报警模式，以适应不同场合需要。当选择有声报警模式时，只要有线报警或无线报警被触发，就能自动吸合继电器K1，驱动外接高响度报警器发出报警音，同时向外发出报警短信和电话。当选择无声报警模式时，只要有线报警或无线报警被触发，只向外发出报警短信和电话，但现场不发出报警声。

VT2及其外围电路构成断电报警传感器，市电供电正常时，经外接的电源适配器输出的电压V_{DD}经R7、R8分压后迫使VT2导通，将JB35G的S6引脚拉

表1 元器件清单

名称	编号	规格	封装	数量
GSM模块	GSM1	JB35G模块		1
电阻	R2、R3、R4、R6	1kΩ	0805	4
电阻	R5、R7、R8	10kΩ	0805	3
电阻	R1	200kΩ	0805	1
电阻	R9	120Ω		1
三极管	VT1、VT2	8050	SOT-23	2
二极管	VD1、VD2、VD3	IN4007	直插	3
集成电路	IC1	PT2272-L4	DIP-18	1
发光二极管	LED1、LED2、LED3	红、黄、绿	直插	3
电容	C1	220μF	直插	1
继电器		JRC4100-12V		1
高响度报警器		12V三音		1
GSM天线插座		SMA接口		1
GSM天线		SMA接口		1
外接电源插座				1
后备电池插座				1
报警输入插座			RJ11	7
继电器输出插座			2×7/100mil	1
报警音输出插座			SIP2	1
报警传感探头	紧急按钮、有线门磁探头、有线红外扇形探头、有线红外幕帘探头（选配）、有线烟雾探头（选配）、有线燃气探头（选配）			

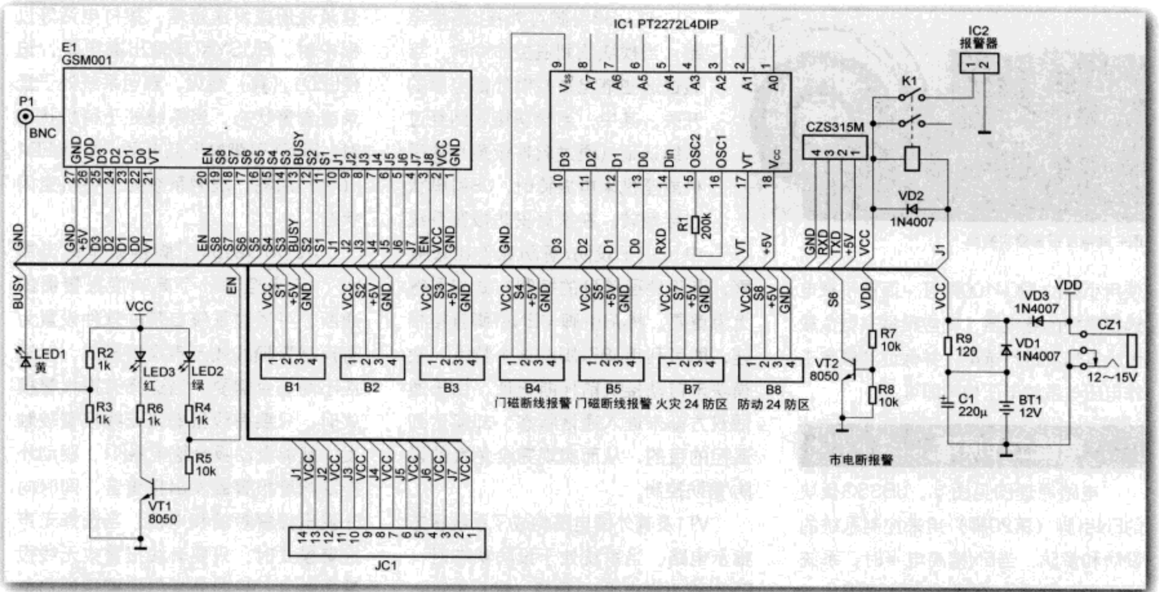


图 5 电路原理图

为低电平。一旦小偷企图剪断220V市电后入室行窃，则在220V市电被剪断的瞬间，由于V_{DD}端掉电，导致VT2由导通转为截止，JB35G的S6引脚跳变为高电平，其上升沿会触发一条报警短信，提示市电线路被剪断。

P1是外接GSM天线插座。J1～J7为外接继电器插座，可用来接驳7个继电器（选择有声报警模式时将占用引脚J1），用来实现电器的短信遥控。

315MHz超再生接收头CZS315和IC1（PT2272）构成无线数据接收解码电路，可供选用无线报警探头和遥控手柄时的用户使用。但笔者个人认为，采用无线式报警探头构成的安防系统终端，看似安装调试最为快捷高效，但实则存在两大技术安全隐患：一方面是由于采用无线方式本身所造成的信道开放易受干扰、结构复杂故障率高等隐患，另一方面是由于智能小偷的无线侦测破解技术层出不穷所造成的隐患。比如，智能小偷侦测到无线报警探头的地址码和数据码后，就有可能通过遥控手柄复制设备来对系统进行解防操作。如果房主启动了系统自带的禁止遥控手柄解防功能，智能小偷还可以利用复制的无线遥控手柄，模拟无线报警探头来频繁地制造虚假报警信息，最终诱使房主误以为安防系统故障而在外出期间关闭报警系统。所以，笔者强烈建议采用最稳定可靠的有线报警探测方式，仅使用个人随身携带的手机来控制设防/解防。由于手机SIM卡技术含量高，基本无法通过接收空中散播的无线信号来复制，故能有效避免智能小偷的假冒，大大提高系统自身的整体可靠性。

而在各个报警探头单独布线受限的场合，则可以采取舍弃315MHz无线接收头、保留系统中的PT2272解码电路，并切断无线报警探头中的315MHz无线发射电路、保留PT2262编码电路，通过将PT2262的编码输出端和PT2272解码输入端通过隔直电容后直接相连的工作模式，以“报警探头编码→总线传输→系统主机解码”的方式进行处理，如图6所示。需要注意的是，采用这种方式时，最多只能挂接2～4个报警探头，而且信号总线不能太长，否则将因信号衰减严重导致系统无法正常工作。

制作调试过程详解

在家居装饰时，建议预埋4芯电话线作为报警探头连接线，出线端建议使用接线盒。这样做的好处主要有两

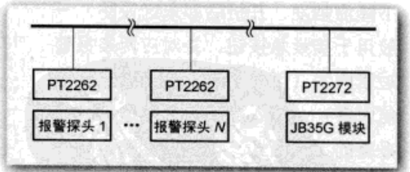


图 6 总线传输报警信号示意图

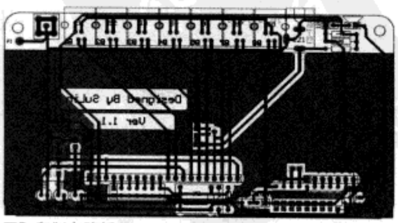


图7 印制电路板图

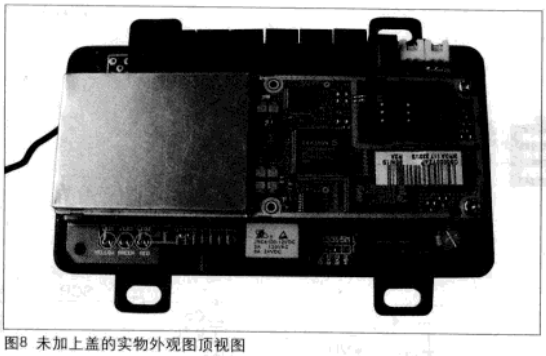


图8 未加上盖的实物外观图顶视图

图9 装配完成的实物外观背面图

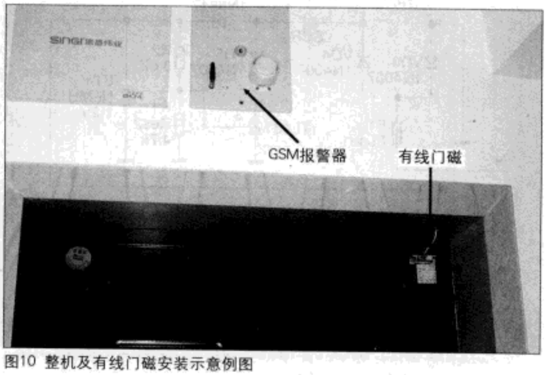


图10 整机及有线门磁安装示意例图

图11 厨房安装燃气探头和有线红外幕帘探头

方面：一是可以由系统主机向外提供12V和5V电源，供不同额定工作电压的报警探头使用。可省去有线报警探头的外接电源或内装电池，避免频繁更换电池，降低使用成本，提高工作可靠性和稳定性。二是可以采用标准化的RJ11电话专用接插件进行安装施工，简化安装维护流程。由于接线时只需一把压线钳，而无需焊接，能够极大地提高安装维护进度。

印制电路板如图7所示。外接电源插座、后备电源插座、报警探头插座、天线插座、高响度警报器插座等都集中在整机背部，遥控输出插座置于整机前部（如需远程遥控家电设备，即可从此处接驳继电器线圈，实现强弱电分离）。在仅采用有线报警模式时，无需焊接315MHz无线数据接收模块和PT2272解码IC。焊接好的电路板安装在一个外部有4个固定孔的塑料机壳内。考虑到安防报警系统无需反复更改软件设置的使用特点，所以不必在外壳上另外开孔来暴露串口和SIM插座位置。初次安装时，只需取下机壳上盖，即可更换SIM卡，接驳串口线完成软件设置。制作完成的实物如图8、图9所示。

制作完成的GSM报警器整机，一般可以安装在入户门上方。为美观起见，建议在装饰施工时就预埋一个安装盒，并将高响度报警器固定在面板上即可。为保证GSM网络信号质量，建议在面板上用一个SMA接口的插座将GSM模块上的天线引出，以便外接GSM专用天线。有线门磁传感器可以安装在防盗门的一角，用万能胶将内置干簧管、有引线的一端粘贴在门框上，将内置永磁铁、无引线的一端粘贴在门板上的对应位置即可，如图10所示。

接在模块12脚的报警探头为主报警探头，建议安装位置高于2m，探头的指向要能覆盖盗贼必经的重点区域。主报警探头一般可以安装在客厅的适当位置。

其他部位，如保险柜、阳台、窗户、卧室、厨房等，则可以根据实际需要安装相应的报警探头。图11为一例厨房中安装燃气探头、有线红外幕帘探头的现场图。

如果家庭成员中有听力障碍者，可能无法通过辨别高响度报警器的提示音来判断系统解防、设防状态，则可将设防指示灯（红）、解防指示灯（绿）引至防盗门猫眼部位，或者直接引到室外适当部位即可，以免失聪人士在回家时误触发报警系统。

JB35G模块还需要进行专用软件的设置，设置的方法请读者到本刊网站（www.raido.com.cn）上下载。

单线进出
多功能电子开关自制方案

◎杜灿鸿

经常看到教室里空无一人，但是至少有10盏日光灯亮着；经常离开宿舍时，走到教室才想起忘记关风扇和电灯；宿舍里的饮水机常常因为忘记关掉加热而浪费了大量电能；图书馆的灯大开着，而此时光线却非常充足……如果这些电灯、电器的开关能“智能控制”，就可以节约不少电能。基于这样的考虑，笔者设计了这款实用的多功能电子开关。

设计思路

市场上已经有一些具有智能控制功能的开关产品，主要的应用还是在楼梯灯和走廊灯，但是多数都是双线进出的，使用时必须从市电取电，再驱动负载，接线麻烦，而且对于已经采用传统的机械开关的家庭线路，要改装智能开关更是麻烦。因此，笔者设计这个多功能开关，首先想到的就是要采用单线进出的技术。

笔者设计的这个电路的基本框架如图1所示。

具体电路

1. 有源单线进出电子开关

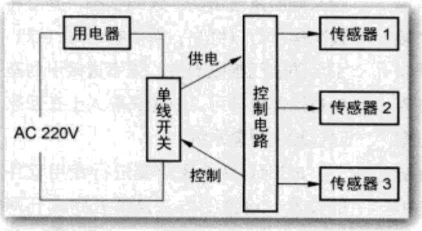


图1 系统架构图

笔者设计了图2所示电路，是一个单线进出的开关，电路中采用了一节镍氢电池作为开关断开时的供电电源。

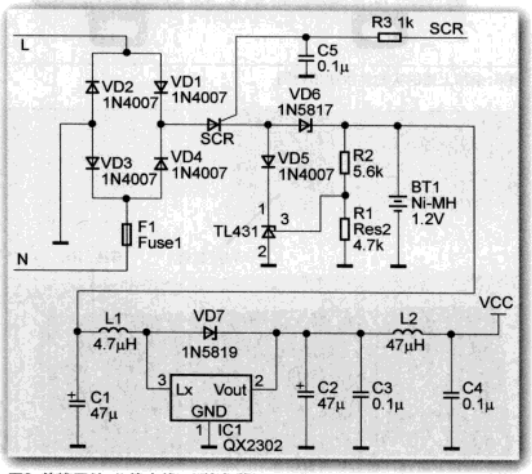


图2 单线开关（L接火线，N接负载）

有源器件的供电有镍氢和锂电池两种选择，锂电池是最佳方案。不过，在这个设计中，采用的是镍氢电池，一是因为成本；二是因为锂电池的充电远比镍氢电池麻烦，镍氢电池可以用恒压充电，锂电池要稍复杂些；三是因为用镍氢电池的设计可能更加普遍一点，低电压的设计如果没有问题，那么换成高电压的锂电池问题自然也好解决。

图2电路工作原理大致如下：

VD1～VD4构成桥式整流，把交流电变成脉动的直流电，然后用一个单向晶闸管来控制开关的闭合和导通，晶闸管导通时相当于开关闭合，晶闸管截止时相当于开关断开。不使用双向晶闸管的原因有二：首先，双向晶闸管控制麻烦，直流电无法让它在整个周期都导通；其次，控制电路的供电必定需要一个整流桥来整流，用双向晶闸管也无法避免，这样一来，直接使用单向晶闸管显得更方便，而且节约成本。

当SCR控制端为高电平时，晶闸管导通，相当于电子开关闭合；当SCR控制端为低电平时，在一个周期内，晶闸管仍然维持导通，在交流电过零的时候关断，因此，相当于开关断开，晶闸管截止后漏电流很小，可以认为开关断开时回路没有电流。

设计这个电路要注意开关闭合时的电池管理问题。开关闭合的时候，也是电池的充电时间，干路可以看成一个恒流源，电流视功率能从10mA到1A，浪涌电流还会超过1A，因此电池需要进行智能多样化的管理：通过判断电池的容量，决定充电的电流，多余的电流直接旁路，最大程度利用通过开关的电流。

不过，这种方案较复杂，需要一个专用的电池管理芯片，或者需要单片机+算法来实现，但笔者未使用这种方法，原因是成本。笔者采用的是更简单的方法——恒压充电，把充电电压限制为1.43～1.45V即可。这种方法

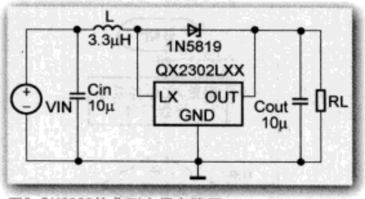


图3 QX2302的典型应用电路图

不是最佳的充电方法，但能保证电池不会过充或超温损坏。

在本系统的电池管理中，1.45V电压直接加在一节镍氢电池上，当电池充满的时候，充电电流约为*C*/20，也就是60mA以下，可以视为涓流充电，对电池毫无损害，还能避免电池的自放电；而且，1.45V的电压充电，充电时电池几乎没有温升，这对电池也是有利的。按照这个电压，采用的镍氢电池是1300mAh，完全放电后充满约需10个小时。

因为通过干路的电流是恒定的，因此这里要产生一个1.45V的电压，为了降低开关导通压降，不能用分压式恒压源，而必须用分流式恒压源，典型的代表芯片就是TL431。

TL431是一个分流式电压基准源，精度很高，动态电阻 0.2Ω，可以通过调节外接电阻的阻值来调节输出电压。不过TL431内部的参考电压是2.5V，也就是说输出的最低电压是2.5V，无法满足本方案的要求。笔者发现TL431系列的产品有一款TLV431，参考电压是1.24V，也就是说输出的最低电压可达1.24V，稳压特性跟TL431一样，满足要求，因此打算用TLV431产生1.44V左右的电压为电池恒压充电。

不过，很遗憾的是，笔者未能在广州的电子市场上找到TLV431这种较少用的IC，无奈之下，只好根据它的内部原理，用三极管和运算放大器搭了一个一样的电路，参考电压取自QX2302的输出（因为QX2302的输出电压精度很高），搭建的电路经过调试后效果很好，性能与TLV431接近，甚至更好。运放采用可以低电压工作的LM324。

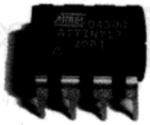
TL431

经过以上分析后可知，只要控制晶闸管控制端的电平高低，就能实现开关的导通或截止，同时，又实现了开关导通和截止时的供电问题，也解决了有源器件的充电管理问题。这样的单线开关，对外引出5根线，2根接负载回路，两根为控制电路供电，一根是晶闸管的控制，也就是开关控制。

2. 智能控制电路

智能控制电路肩负着对传感器的反应作出判断，并根据用户的设置控制开关导通与关闭的重要任务，同时，智能控制电路的功耗将直接影响电子开关断开时的静态电流，进而影响待机时间。智能控制电路与单线进出电子开关配合，才能最大程度发挥电子开关的特色。笔者采用了AVR单片机中的Attiny13作为控制核心，外置光控、声控、温控和通用传感器接口。硬件电路如图4所示。

该电路利用3个I/O作为ADC的输入通道，分别负责采集声音、温度、光度的信号，另外，一个I/O作为通用传感器的输入通道，一个I/O负责控制晶闸管，即控制电子开关。剩下的PB5由于下载程序的需要，便留作复位端，不予以使用。JP1是ISP程序下载口，VD9防止电源接反而损坏单片机，二极管作为指示。3个传感器的硬件电路见图4，传感器的电流损耗将占大部分，因此，实际应用时根据应用范围要合理地设置传感器的数目，以降低待机功耗。AVR系列单片机的I/O口驱动能力很强，直接驱动晶闸管不成问题，这简化了硬件电路的设计。


Attiny13

该电路要实现功能，需要软件上的控制，AVR单片机支持ISP在线下载，因此操作非常方便，可根据需要进行编程，变化很多功能。感兴趣的读者可到本刊网站上下载实现“光控+声控双稳态”的单片机源程序，其流程图见图5。

在本系统中，交流电过零时电子开关便能关断，因此最高导通频率为100Hz，作为阻性负载，该速度用于PWM调温还是足够的。因此该电路不仅能代替机械开关，还能实现智能控制，而且具备机械开关不具备的功能。

比如：电风扇的“自然风”控制器，用单片机控制开关时间；电热器

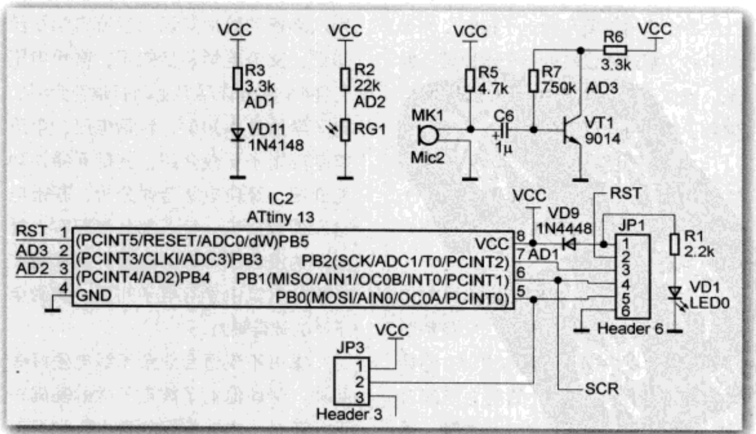


图4 智能控制电路及传感器电路

QX2302简介

QX2302（www.qxmd.com.cn/uploadfile/20081022174451 5457.pdf）系列产品是一种高效率、低纹波、工作频率高的PFM 升压DC-DC变换器,仅需要4个元器件，就可完成将低输入的电池电压变换升压到所需的工作电压，非常适合于便携式1～4 节普通电池应用的场合。

QX2302可提供SOT-23-3、SOT-23-5、SOT-89封装形式,SOT-23-5封装内置EN使能端，可控制变换器的工作状态，使它处于关断省电状态，功耗降至最小。

特性

- 最高工作频率:500kHz
- 输出电压:2.0～5.0V（步进0.1V）
- 低起动电压：0.8V(1mA)
- 输出精度:优于±2.5%
- 最高效率:87%
- 输出电流:大于400mA（V_i=2.5V，V_o=3.3V）
- 低纹波，低噪声

应用范围

1～3 个干电池供电的电子设备,如：电子词典、数码相机、LED 手电筒、LED 灯、血压计、MP3、遥控玩具、无线耳机、无线鼠标键盘、医疗器械、防丢器、汽车防盗器、充电器、VCR、PDA等手持电子设备。

QX2302芯片非常适合将一节镍氢电池的电压升高到合适的范围，而且市场价格也不贵，零购的话价格在1元/个以下。笔者选择了一个QX2302，把一节镍氢电池的电压提升到3.3V，为控制电路供电。3.3V对于大多数电路已经足够，因此不打算提升到5.0V，这样能大大地降低功耗。

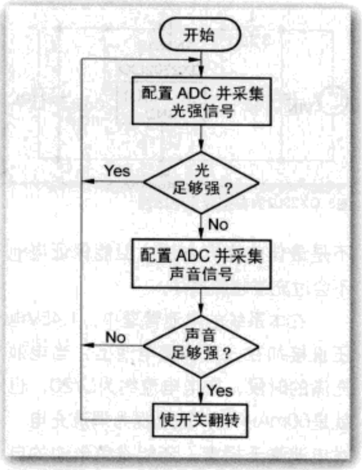


图5 流程图

的“温度控制”，调节开关导通的占空比；人体感应走廊灯，人来灯亮，人走灯灭，巧妙利用传感器；智能报警器，利用传感器技术对防盗进行探测，通过电路判断后控制“警笛”的开关……

笔者将该单线智能开关模块接入案头的台灯上，经过一段时间的使用，接线方便，使用灵活。但实际应用中也发现，电池的寿命是该模块的瓶颈！如：电池如果没电，开关就无法开通，而待机时间过长就会导致电池电量过低。笔者采用1300mAh的电池，充满后待机时间约1个星期。

书讯

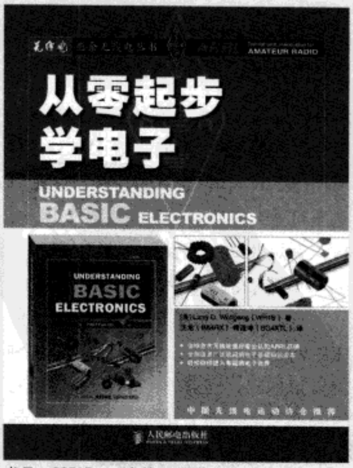
电子学是现代技术中迷人的部分。无论你在哪里，你都能看到电子设备和装置。从汽车到邮局的邮政编码阅读器，几乎每个机器都要用到电子控制。你可以不必了解这些设备的电子学原理，但是，当你了解了电子学的基本原理后，你会了解你身边更多的东西。

本书是由美国业余无线电转播联盟（ARRL）的技术编辑Larry D. Wolfgang 编写的《从零起步学电子》的中文译本。

这是一本真正从零开始的面向电子初学者的电子学基础读物。它将帮助你学习最重要的电子学基本原理。你会对你完成一个电路设计的能力充满自信，并且了解这些设计的工作原理。通过理解这些基本原理，你可以阅读理解更深的内容。你会熟悉电子技术和业余无线电技术的术语和行话。

全书分为4个单元、30个章节，分别从必备的数学知识、直流电学初步知识、交流电学初步知识、常用电路元件4个部分详尽而生动有趣地介绍了电子学的基本知识，包括电压、电流等基础电子参数介绍、基础元器件功能介绍、经典电路定律分析、基础电路原理解剖等，每一部分都配有大量幽默的漫画进行辅助说明，让读者在轻松的气氛中学习电子知识，感受电子学的神奇魅力。

本书不仅适合业余无线电爱好者阅读，帮助他们了解电子学的基础知识，还是一本非常好的青少年学习电子知识的课外读物。



书号：20517 定价：45元

巧用315MHz收发模块制作简易无线鼠标

◎刘亮

通常，鼠标通过PS2插口或者USB接口以有线的方式将移动的距离和方向转换成脉冲信号传送给PC。近年来，随着无线技术的发展，出现了一种新型的无线鼠标，它脱离了鼠标线的束缚，使鼠标随心所动。作为一个DIY爱好者，笔者本着“自己动手，丰衣足食”的原则，根据鼠标的工作原理和协议，利用老旧的PS2鼠标和315M无线发射接收模块，配合PC串口，制作了一款简易的无线串口鼠标，成本只有20元左右。

硬件设计

本无线鼠标分信号发射与信号接收两大部分。

发射部分电路原理图如图1所示，其中鼠标PS2接口的引脚定义见图2。

发射部分电路主要由AVR单片机ATMEL Mega8(以下简称为Mega8)和315MHz发射模块组成。在这里，Mega8主要完成PS2接口鼠标的控制与数据获取，并通过315MHz发射模块发送位移数据。

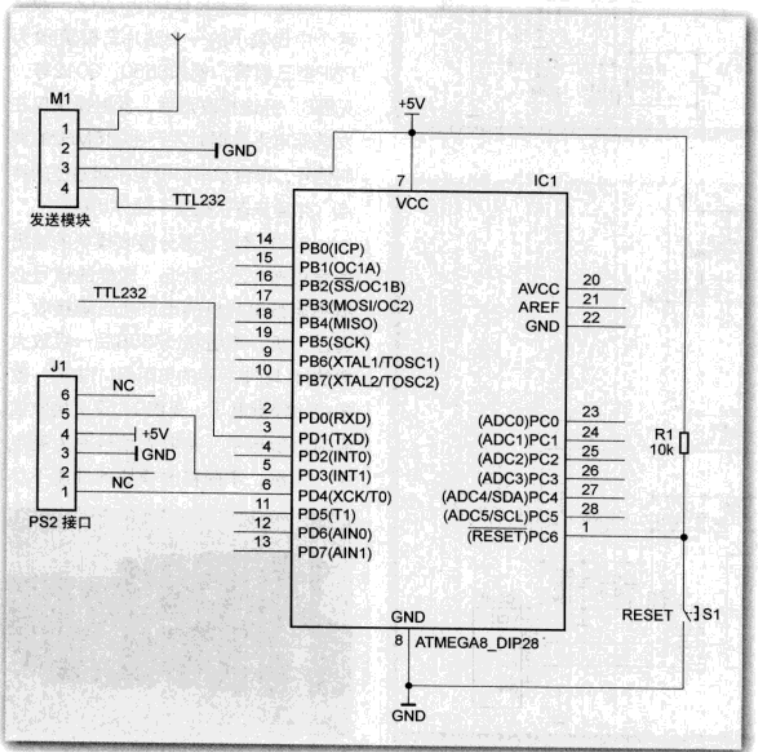


图1 发射部分电路原理图

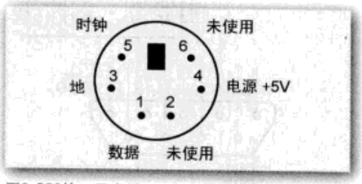


图2 PS2接口示意图

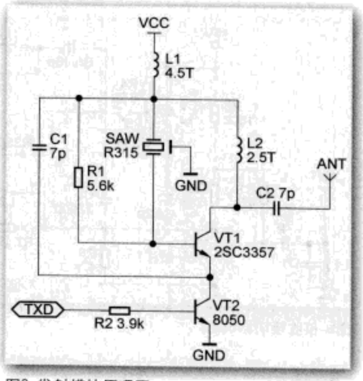


图3 发射模块原理图

市售的315M发射模块电路图如图3所示。

接收部分电路主要由接收模块和MAX232组成，其原理图如图4所示。

其中LED用于指示无线信号的接收解调情况，有数据接收时LED应闪亮。市售的接收模块电路原理图如图5所示。

※注：为了使模块工作在最佳状态，笔者对收发模块进行了一些小的调整，在制作方法中会进行详细叙述。

考虑到笔记本电脑已经逐步淘汰串口，可用PL2303HX这类USB转UART芯片代替MAX232，如图6所示，实物电路见图7。

该电路的主体是PL2303HX芯片，主

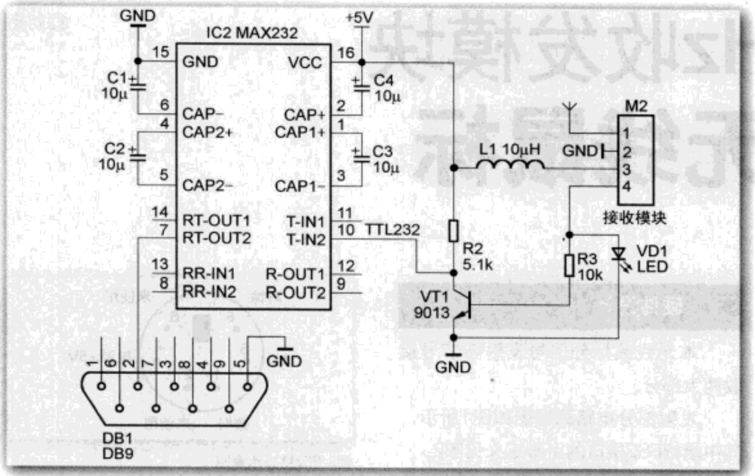


图4 接收电路原理图

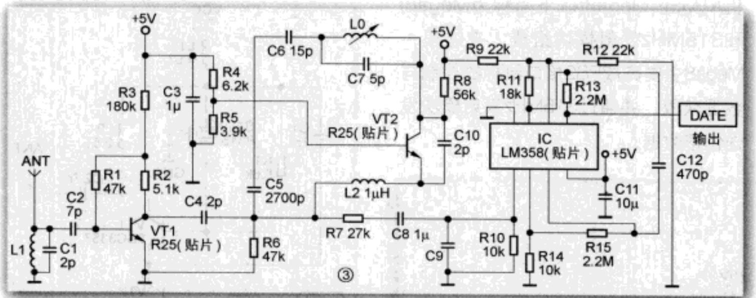


图5 接收模块原理图

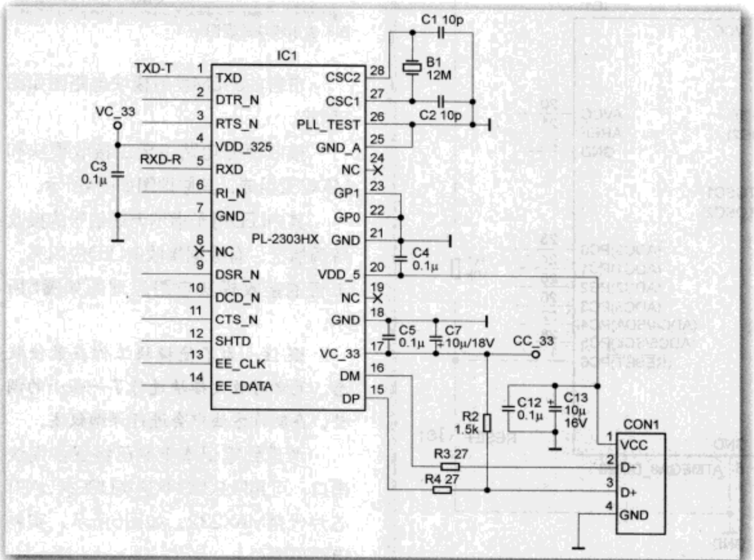


图6 PL2303HX原理图

要完成USB与TTL232之间的协议转换。详细介绍请参看本刊2008年第5期中的《常用USB转串口芯片介绍》一文。

软件设计

Mega8将读取的鼠标位移数据通过315M发射接收模块传送至PC后，对鼠标位移数据进行处理，笔者利用VS2005的C#编写了一个简单的串口小程序。该程序将收到的数据进行解释并转换为鼠标运动的轨迹。经笔者使用，效果良好。

具体代码在此就不详细介绍了，请到本刊网站下载。

制作方法

本无线鼠标的制作方法与要点：

1. 由于单片机串口不发送数据时为高电平，按图3发射模块的电路连接后在串口不发送时也将持续发送无线信号，因此，笔者将模块中的VT2(一般是两个中比较小的一个贴片三极管)改为PNP型三极管，例如8550、9012等，见图8。经这样改造后，发射模块仅在发送低电平数据时才产生315MHz的调制信号，符合了串口低电平起始位的特点，并且节省了相当一部分功耗。

2. 笔者发现部分接收模块的输出信号总在1/2V_{DD}附近，这样的信号必然不能被单片机的串口所正确接收。通过分析，笔者将LM358后一级放大器的IN+与IN-之间的电阻(R11)去掉，效果就比较满意了，见图9。没有接收信号时为低电平，接收到信号时为高电平。当然，不同接收模块的性能不尽

图7 笔者用PL2303HX做的USB转UART模块

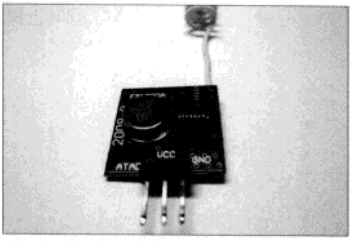


图8（a）发射模块全貌图

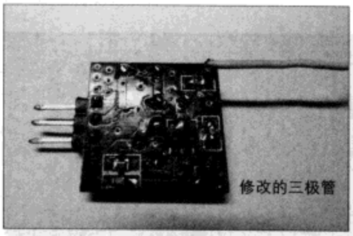


图8（b）发射模块背部修改处

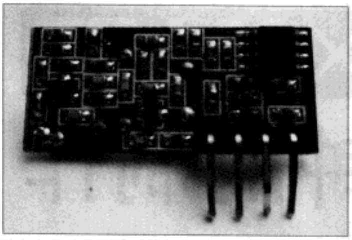


图9（a）接收模块全貌图

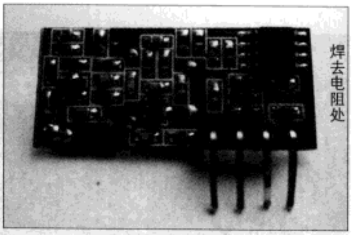


图9（b）接收模块焊去电阻处

相同，如果读者在制作时遇到此类现象，不妨试试笔者的方法。

3. 发射模块和接收模块的天线可以选用(1/4λ)23.8 cm左右的硬质铜线，在铅笔上缠成螺旋形并适当拉长即可。天线有一定的方向性，这与接收到的信号强弱有很大的关系。

4. 由于本代码未涉及精确的延时，对AVR熔丝位编程时选择使用内部RC振荡器8MHz即可。

AVR系列单片机与51系列的单片机端口结构不同，它的输入输出的转换需要通过修改寄存器（DDRx）来实现，因此读写时需分清端口的方向。在本电路中，笔者只用了PD3(接PS2的CLK)和PD4（接PS2的DATA）两个端口，利用PD3检测PS2的时钟下降沿产生中断，并按Bit读取PS2的串行数据。当然读者也可以进行修改，以适用更加小巧的AVR单片机甚至贴片封装的单片机。

5. 笔者的PC端软件采用C#开发，属于.net环境下的应用程序。考虑到该鼠标制作的简易性，笔者对数据处理时并未采取驱动开发的方式，而是采用了简单易懂的鼠标API控制函数对鼠标进行控制，能够较好地满足鼠标控制的需求。软件界面见图10。

部分读者遇到双击提示错误无法运行的情况时，可以尝试安装微软的FrameWork 2.0环境，其下载地址为：**www.microsoft.com/down-loads/details.aspx?FamilyID=0856EACB-4362-4B0D-8EDD-AAB15C5E04F5&displaylang=zh-cn**。

6. 如果有需要用到PL2303HX代替MAX232芯片，则需在PC上安装驱动，详情请参照本刊2008年5月刊中的《常用USB转串口芯片介绍》一文。

制作的图片如图11～14所示。

综述

有兴趣的读者可以使用更加小巧、低电压的芯片进行改造，使结构更加合理，外观更加美观。笔者将包含鼠标定位点的串口数据包使用无线收发模块为媒介，实现了无线数据传送和接受，从而完成了无线鼠标的制作，从通用性和易用性上说，具有广泛的应用价值。然而笔者的设计仍然有诸多不完善的地方，有兴趣的读者可以发送邮件至bsgd_hhxy0919@163.com一起进行讨论研究。

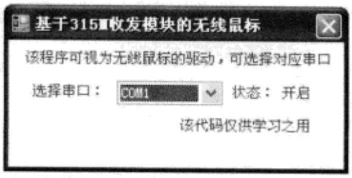


图10 无线鼠标PC端软件

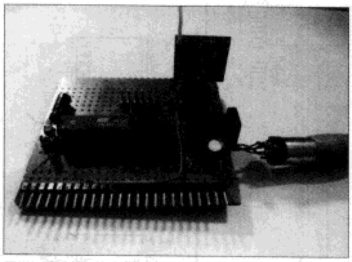


图11 发射部分电路

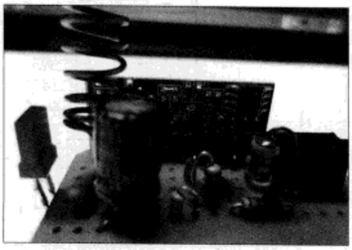


图12 接收部分电路

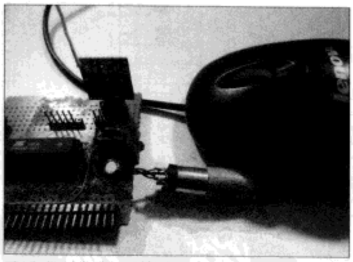


图13 发射电路组装完成

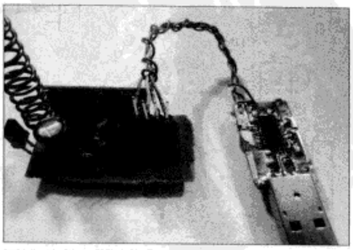


图14 接收电路组装完成

00:01:04 8×32 LED点阵电子钟的制作

◎叶士良

笔者曾做过一个万年历数字钟外加温度显示，当时用了18个数码管，虽然显示的内容比较多（显示年、月、日、星期、时、分、秒、温度），但是采用的是只有0.56英寸且是共阴的数码管，稍远一点就看不清显示的内容，用更大尺寸的数码管做电子钟带来了新的问题，大尺寸数码管是由2个或是2个以上的LED组成一段，需要更高电压的电源供应器，而且数码管无法显示中文字。

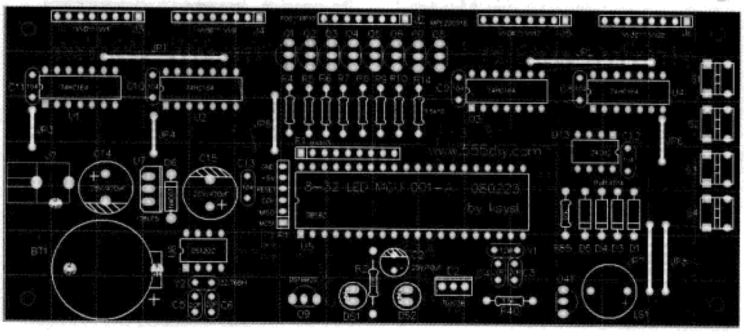


图2 印板图

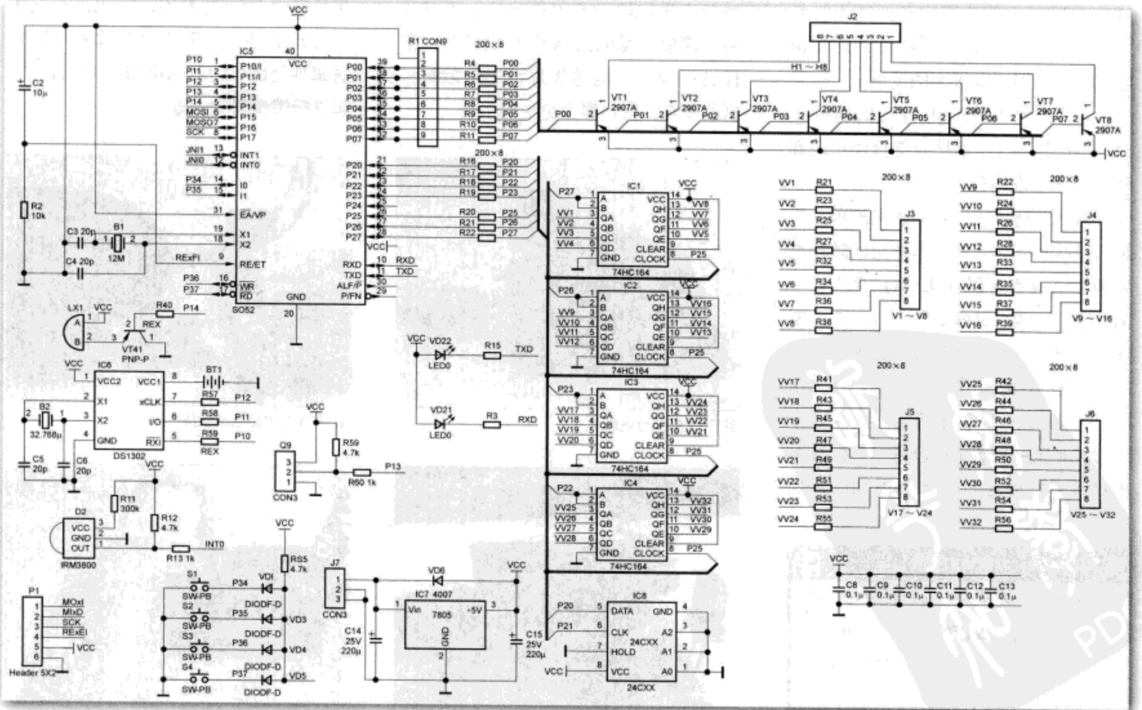


图1 电路原理图

要显示中文字，一般就会选择LCD或者LED点阵。LCD价格比较贵，且驱动比较复杂，LED点阵就是不错的选择。现在一些超市、店铺，甚至红绿灯指示、大型广告牌等都有LED点阵的身影。显示图像或字体都可以，要改变显示的内容，换个程序就行了，可玩性很强，而且LED很亮，功耗又小，晚上可以当小夜灯使用。

要能比较完整地显示一个中文字，16×16的LED点阵基本符合要求了，但笔者的主要目的是显示时间，中文字只是其中的点缀，而且点阵屏越大，驱动线路越复杂。本着够用、能简单就简单的原则，笔者最终选择8×32 LED点阵制作电子钟。

市场上有现成的点阵屏卖，规格有5×7、6×7、8×8、16×16等。其实做8×32的LED点阵屏用4个8×8的点阵屏来做是个不错的选择。不过笔者选择自己用LED来制作这个点阵屏，光焊接这个屏就花了几天时间，一旦其中有一两个焊坏，维护起来相当吃力，大家看看点阵屏的焊接图就能了解了。

再来说说驱动电路。首先是确定单片机，51系列的资料比较多，加上笔者之前做的万年历有一些子程序可以直接调用。考虑到调试程序，且要驱动点阵，程序应该不会少，就选择了AT89S52，留下载线接口方便调试，8KB的flash应该够用。AT89S52有32个I/O口，用I/O口直接驱动点阵就行不通了。51系列的速度在单片机世界里是属于比较慢的，为了加快扫描速度，不至于让人感觉到闪烁，笔者决定用4个74HC164来外扩驱动，用AT89S52的一组口来位选点阵的8行，4个74HC164分别控制32列。4个74HC164的CLOCK接在一起由AT89S52的一个口驱动，而它们的数据位则分别有AT89S52的4个口控制，这样4个74HC164就可以同时被送入数据，加快扫描速度。另外预留4个按键用来设定时间，一个万年历芯片，一个24C01用来存放闹钟时间，一个红外接收头，一个蜂鸣器，再加2个LED指示灯。

整理后的电路原理图如图1所示，印制电路板图如图2所示。

笔者外做了该电路的PCB，见图3。在该PCB上焊接好元件驱动电路实物，如图4所示。

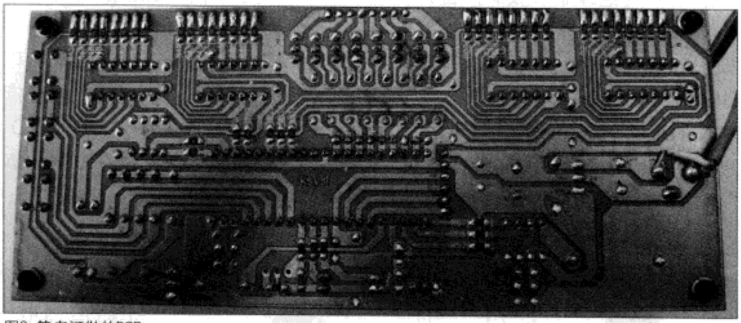


图3 笔者订做的PCB

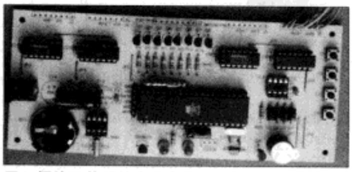


图4 焊接元件后的电路实物

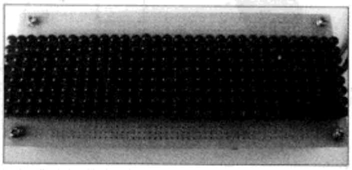


图5 256个LED焊成的屏

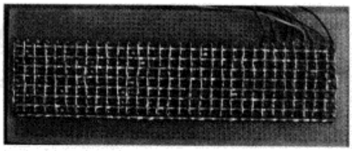


图6 LED屏的焊接面

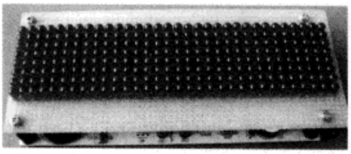


图7 将两块板组装起来

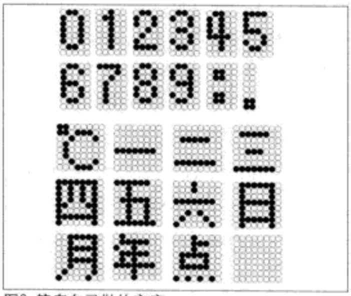


图8 笔者自己做的字库

图9 显示效果

笔者花了几天才焊好的LED屏的元件面，一共256个LED，见图5。

LED焊接面见图6，如果有几个坏的话维护就累了，所以这里需要细心焊接，注意LED方向的一致性。

最后将两块板组装起来，如图7所示。驱动的排线也要细心焊接，焊错的话显示就会乱码了。

从网上下载的软件做的字库老是不符合要求，就只能自己做字库了，笔者自制的字库如图8所示。

至此，LED点阵就可以工作了。不过LED比较刺眼，包上一层硫酸纸就会清楚一点，显示效果见图9。

对此制作感兴趣的读者可到本刊网站下载相关程序、字库及protel文件。

功率三极管封装图说

◎吴红奎

功率晶体管包括三极管和二极管，其典型的封装形式是THM（Through-Hole Mount，引脚插入式）插脚型封装，即使是在SMD（Surfacd Mounting Device，表面贴装元件）大行其道的今天也是如此，因为实践证明这种形式的封装既可靠又利于独立散热片的安装和固定。晶体管THM封装以TO（Transistor Outline，晶体管封装）为主要形式，而SMD形式的，以有引脚的为主要形式，IR（International Rectifier，国际整流器）开发的DirectFET封装则是其中的特例，属于无引脚而只有焊接端子的形式，这种形式在小功率SMD器件中的应用最为广泛。

我们常见的电子元器件封装属于最终封装，是可以直接进行印制板（PCB）安装的封装形式，虽然各半导体芯片制造商都提供没有最终封装的预封装裸片（不能直接安装于印制板），但是带有最终封装的元器件仍然是最主要、最主流的提供形式。

功率晶体管相对于集成电路，引脚排列相对简单，只是外部形状各异。按照管芯封装材料来分大致有两大类：塑料封装和金属封装。如今，塑料封装最为常见，有裸露散热片的非绝缘封装和连散热片也封装在内的全塑封装（也称为绝缘封装），后者无需在散热器和晶体管之间加装额外的绝缘垫片，但是耗散功率会稍微小一些，金属封装又称为金属管壳封装或者管帽封装，有着银白色的圆形蘑菇状金属外壳，因为封装成本比较高，如今已经不太常见了。按照内部管芯的数量，可以分为单管芯、双管芯、多管芯三大类，多管芯一般耗散功率比较大，主要用于电力电子领域，比较通用的名称是模块或者晶体管模块，本文不再讨论。

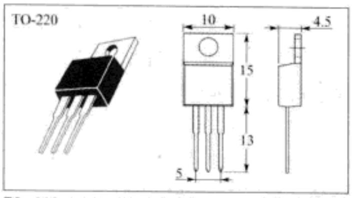
三极管中，单管芯塑料封装最常见，引脚都是3个，排列也很有规律，很少有例外。有印字的一面朝向自己，引脚向下，从左至右，常见类型的功率晶体管引脚排列如下：

BJT（双极性晶体管）：b（基极）、c（集电极）、e（发射极）；

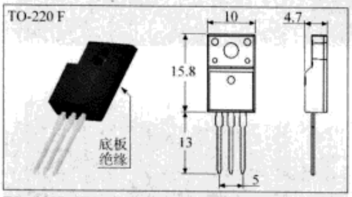
IGBT（绝缘栅双极晶体管）：G（栅极）、c（集电极）、e（发射极），VMOS（垂直沟道场效应管）：G（栅极）、D（漏极）、S（源极），BCR（双向晶闸管）：A1（阳极1）、A2（阳极2）、G（控制极），SCR（单向晶闸管）：K（阴极）、A（阳极）、G（控制极）大功率二极管除了特有的DO（Direct Outline，两端直接引线）封装外，也常常采用塑封三极管的封装形式，三引脚为共阴极或者共阳极以及双管芯并联，或者将三引脚改为两引脚，通常是中间的一脚省去。

对于塑料封装而言，三引脚的TO-220是基本形式，由此扩大，有TO-3P、TO-247、TO-264等，由此缩小，有TO-126、TO-202等，并各自延伸出全绝缘封装以及更多引脚封装和SMD形式。其目的也很明确，在保证耗散功率的前提下缩小封装成本，对于高频开关器件，还要减小引线电感和电容，DirectFET封装就是典型的例子。

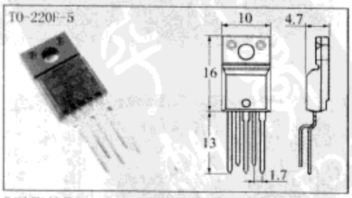
很多封装仅从外部形状来看，很相似，这时候就需要注意其实际的外形尺寸以及底板是否绝缘等；有些封装不止一个名称，因为封装原本没有统一的国际标准，更多是约定俗成，后来一些行业协会也参与了名称的确认以便于交流，如常见的以SC开头的封装名称就大多是由JEITA，日本电子和信息技术产业协会统一确认的，对常见的TO-220AB，JEITA命名的名称是SC-46。部分功率三极管的封装形式见后图。



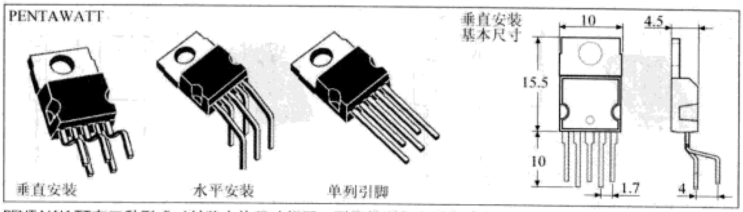
TO–220（SOT–78、SC–46），TO–220AB表示中间的引脚与散热片相连



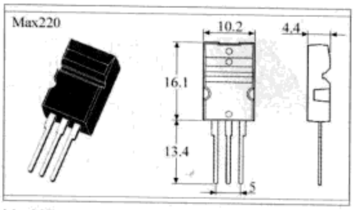
TO–220F（TO–220 ABFP、TO–220 Overmolded、SOT186A、SC–67）



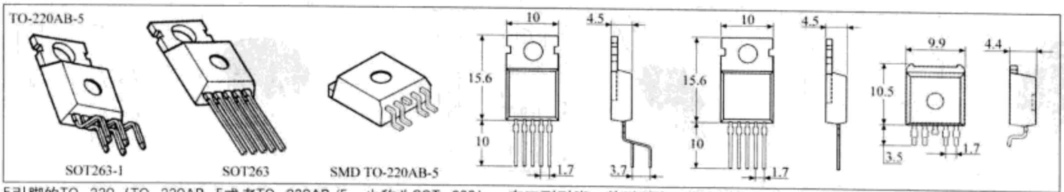
5引脚的TO–220F、底板绝缘TO–220 Full–Pak 5–Pin



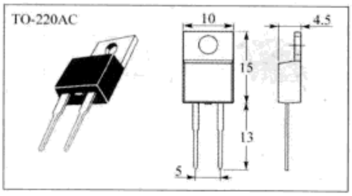
PENTAWATT有三种形式（封装本体尺寸相同，引脚排列和安装方式有所不同）



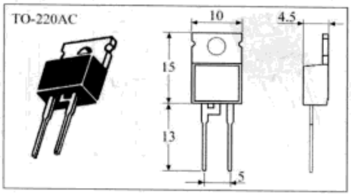
Max220



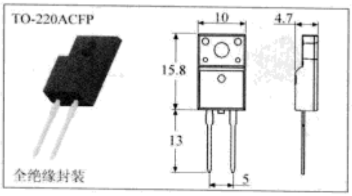
5引脚的TO－220（TO－220AB－5或者TO－220AB/5，也称为SOT－263），有双列引脚、单列引脚、SMD三种形式，与PENTAWATT的主要区别是所有引脚的长度是一样的



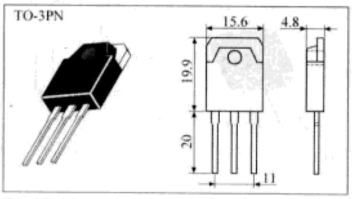
TO－AC220（TO－220AD、DO－220、SOD－59）



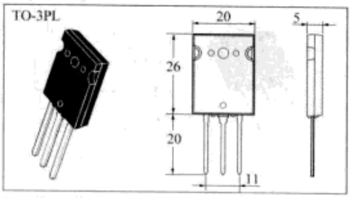
TO－220AC（外部连脚）



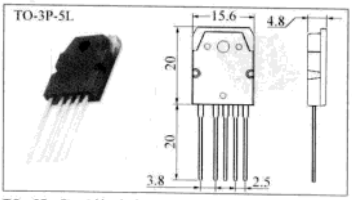
TO－220ACFP



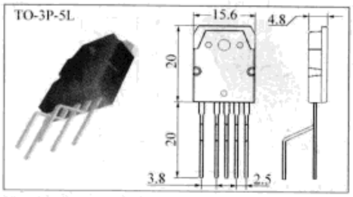
TO－3P（MT－100、SC－65、TO－3PN、CASE 340AB）



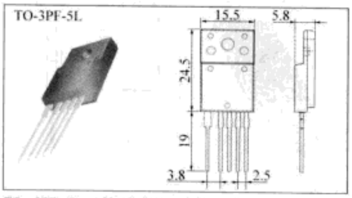
TO－3PL（螺孔绝缘，底板不绝缘）



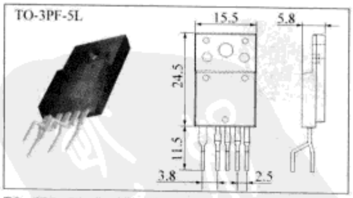
TO－3P－5L（单列引脚）



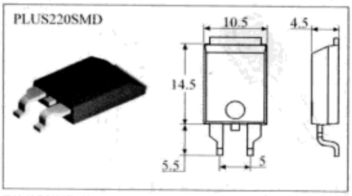
TO－3P－5L（双列引脚）



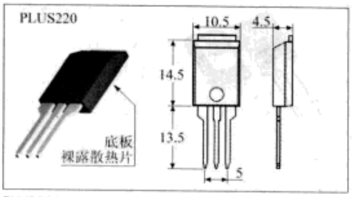
TO－3PF－5L（单列引脚，底板绝缘）



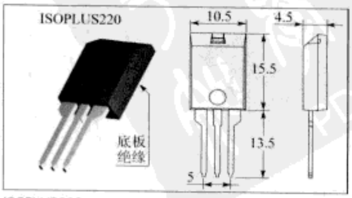
TO－3PF－5L（双列引脚，底板绝缘）



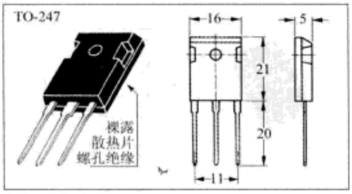
PLUS220SMD



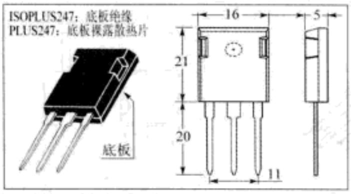
PLUS220



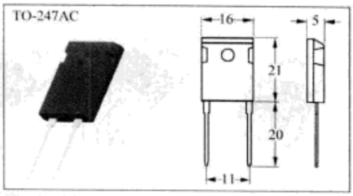
ISOPLUS220



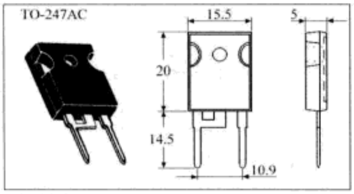
TO247 (SOT429)



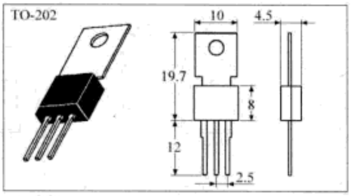
PLUS247和ISOPLUS247



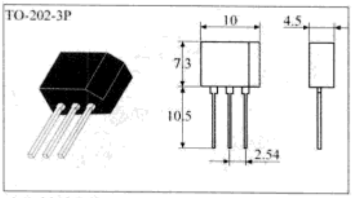
TO−247AD



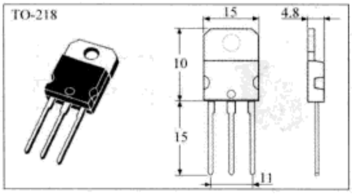
TO−247AC



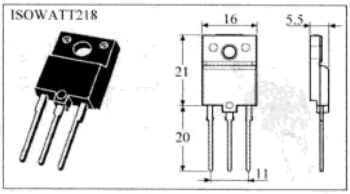
TO−202



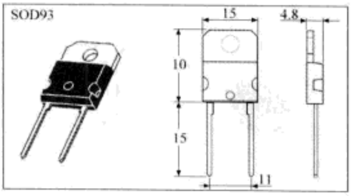
全塑料封装的TO−202



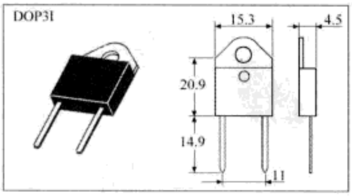
TO−218 (SOT−93)



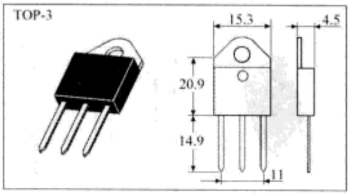
ISOWATT218



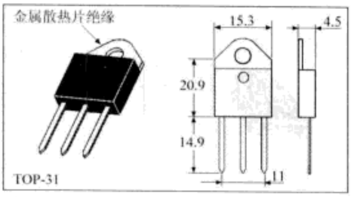
SOD93



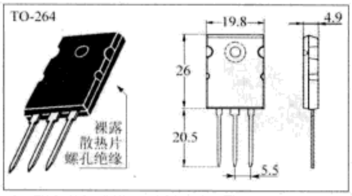
DOP−3I



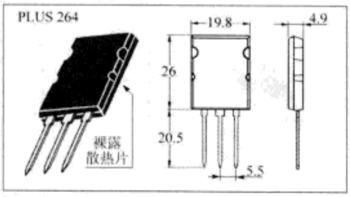
TOP−3



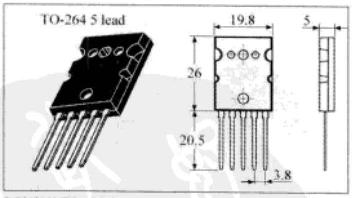
TOP−3I



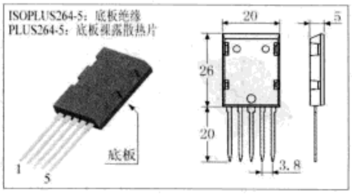
TO−264 (TO−3PBL、CASE 340G)



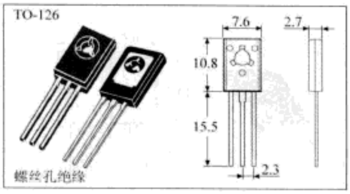
PLUS264



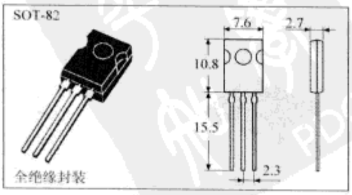
5引脚的TO−264



5引脚的PLUS264和ISOPLUS264



TO−126 (SOT−32、TO−225、CASE 77)



SOT−82 (TO−126的全绝缘封装)

数码相框也能自己做

◎张彬杰

笔者自制了一款数码相框，可以将数码相机存储卡(SD/MMC卡)中的相片直接显示出来，虽然没有成品的数码相框那么漂亮，但是自己DIY的东西，很有成就感，性价比也不错，特向读者介绍其制作方法。

这款自制的数码相框屏幕的分辨率是160×128，颜色位数是16位高彩色。笔者用SD/MMC卡作为存储设备，使用FAT32作为图像的管理系统，用单片机控制播放和解读FAT32结构。同时，加入了对BMP格式文件播放的支持，支持取模软件取出的*.bin文件。

电路功能

整个数码相框由彩色液晶【左】、SD/MMC卡槽【中】和51单片机最小系统【右】3个部分组成，如图1所示。彩色液晶用于图像的显示，SD/MMC卡槽用于插入存储设备，51单片机最小系统用于控制和播放图像。使用时，将SD/MMC卡格式化成FAT32文件系统，然后把BMP格式图片复制到SD/MMC卡，即可自动播放。

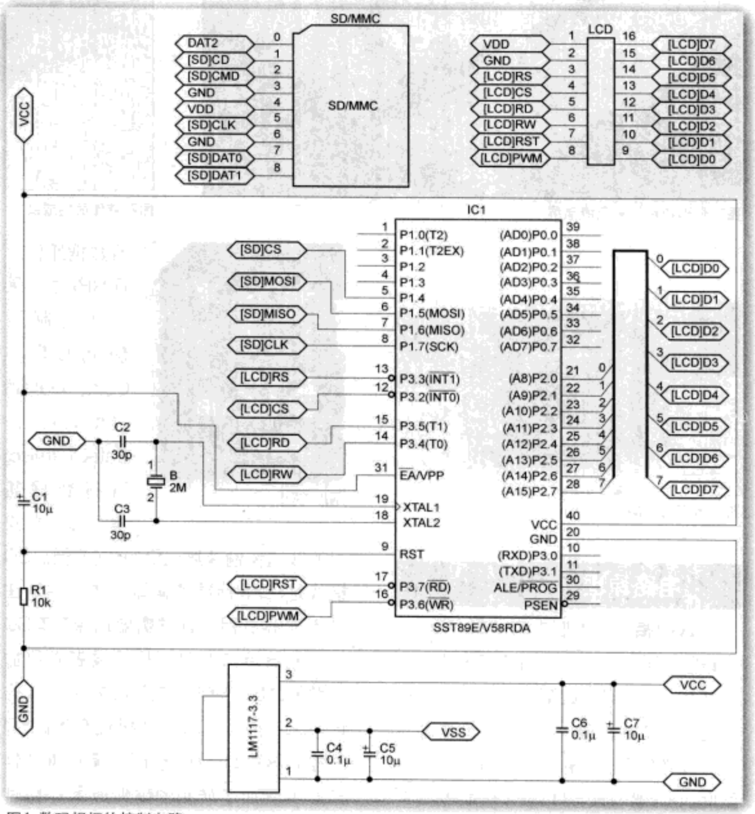


图4 数码相框的控制电路

所需元器件及材料

数码相框的控制电路几乎没使用什么分立元件，笔者使用了一片LM1117-3.3（见图2）及其外围元件进行电源电压转换，把电源电压稳定在3.3V。控制电路选用了SST89E58RD单片机作为主控制芯片，该单片机有1KB的内部RAM，有硬件SPI接口，最高可用40MHz晶体振荡器。单片机的外围元件组成了最小系统。笔者买了个SD/MMC卡槽，方便插入SD/MMC卡。彩色液晶屏的分辨率是160×128，自带型号为SPFD54124B的控制器，这样只要通过发送命令就可以方便地显示图像了。彩色液晶屏（见图3）最好选自带控制器的，因为一般单片机不带液晶控制器。如果手边没有彩色液晶屏，用熟悉的128×64的黑白液晶屏练习一下也行。更具体的元器件，请看电路原理图，就不再一一介绍了。

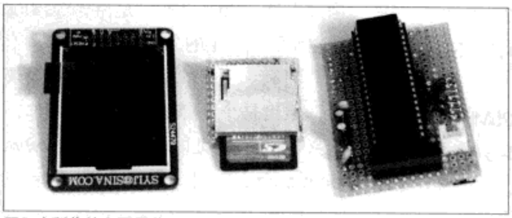


图1 本制作的主要器件

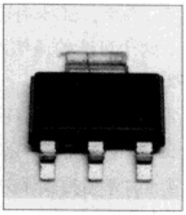


图2 LM1117-3.3

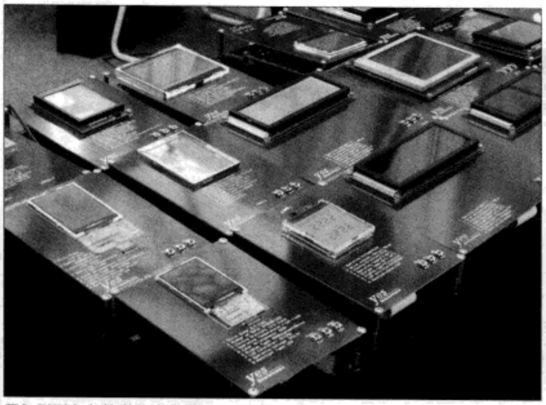


图3 形形色色的彩色液晶屏

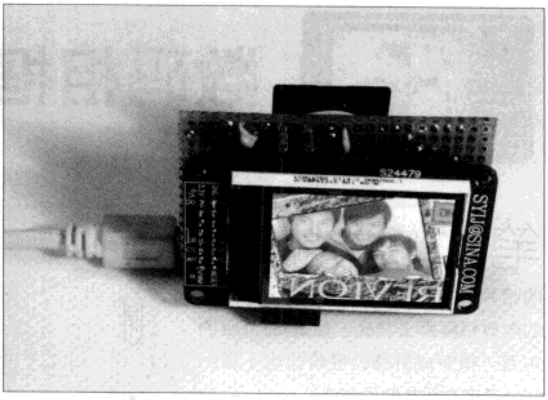


图7 制作后的成品

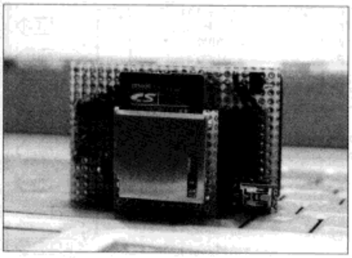


图6 卡座的一侧

图5 SD卡

电路原理

数码相框的控制电路如图4所示，电路的关键是如何与SD/MMC卡连接，以及如何与彩色液晶屏连接。电路很简洁，由单片机最小系统、3.3V电源转换、SD/MMC卡、彩色液晶屏组成。液晶屏的8个数据I/O口和单片机的P2口直接相连。液晶的其余控制线分别连接至P3口。在电源方面，笔者采用了USB充电器的5V电源，经过LM1117-3.3稳压模块，转换成3.3V电压。当然了，如果有3.3V的电源，也可以直接使用。剩下的就是单片机最小系统了。

SD卡的特点

笔者选用的SD卡就是普通数码相机常用的存储卡，见图5。控制SD卡时，通常有两个可选的通信协议：SD模式和SPI模式。其中 SD方式采用6线制，使用CLK、CMD、DAT0~DAT3进行数据通信。而SPI方式采用4线制，使用CS、CLK、DataIn（mosi）、DataOut(miso)进行数据通信。SD方式时的数据传输速度比SPI方式要快。SD模式是SD卡标准的读写方式，但是在选用SD模式时，往往需要选择带有SD卡控制器接口的单片机，或者必须加入额外的SD卡控制单元以支持SD卡的读写。然而，一般单片机没有集成SD卡控制器接口，若选用SD模式通信就无形中增加了产品的硬件成本。在对SD卡数据读写时间要求不是很严格的情况下，选用SPI模式可以说是一种最佳的解决方案，并且目前市场上很多单片机都有现成的SPI接口电路，采用SPI模式对SD卡进行读写操作可大大简化硬件电路的设计，具体请看电路原理图了。总之，SD卡有以下特点：

1.两个可选的通信协议：SD模式和SPI模式。

2.可变时钟频率：0~25MHz。

3.工作电压范围：2.0~3.6V。

4.卡片带电插拔保护。

5.兼容MMC卡命令。

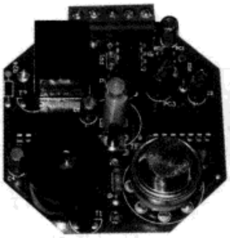
制作过程介绍

本制作使用了两块万用板，一块用来固定SD/MMC卡槽，另一块用来做单片机最小系统。笔者在网上买了一片1.8英寸的彩色液晶屏。这3个部分组成一个整体，并用插针插座连接。电源用USB接口的5V电压，所以笔者在万用板上焊接了miniUSB接口，见图6。当然，如果想要携带方便，读者也可以使用电池供电。

使用效果

制作完成后，我们来看看使用效果吧，见图7。在彩色液晶屏上显示图像时，显示完一幅图像后，延迟2s，继续显示下一幅。图像与图像之间从左往右、从上往下可以快速地切换。在SD卡里存储文件时，文件名以3位数字命名，存放在根目录下，显示的时候就从000开始，顺序读取。当读取不到下一个文件时，重新从000读取。笔者存储的BMP文件是高彩色图像，图像大小为：160×128，是用Photoshop调整原图后产生的。

呵呵，虽然这个数码相框很简易，但也是个不错而实用的小制作。感兴趣的读者可以到本刊网站**www.radio.com.cn**下载本制作所用的各种资料和程序。



一款实用的煤气报警器电路

◎张全威

笔者在工作中设计了一款实用的煤气报警器，该报警电路使用了两块LM324四运放比较器和用MC34063构成的DC/DC稳压模块，具有电路简单，结构合理，工作可靠，用电效率高等优点，广泛使用于居家报警，小区安防系统中。由于使用了继电器输出，对外提供了常开和常闭两组触点，可以灵活地与其他报警系统连接。

报警器的核心部分是GS-B1型煤气传感器，属于催化燃烧式传感器，具有输出信号线性好、指数可靠、与其他非可燃气体的无交叉干扰、价格便宜等优点。它由7个引脚组成，见图1。其中2、6脚为传感器加热丝，为感应电阻产生500℃以上的高温，在1、3脚和5、7脚之间涂有催化物质，形成感应电阻。当空气中存在可燃气体时，在感应电阻上产生无焰燃烧，感应电阻的阻值发生变化而达到检测煤气浓度的目的。第4脚为接地端，在传感器内部同5脚之间接有一个91kΩ的电阻。

该款煤气报警器电路见图2。图中虚线框起来的部分为DC/DC电源转换电路，采用开关电源工作模式将输入的12V直流电转换为6V直流，具有效率高，输出电压稳定，发热量小的优点，其工作原理如下：

图1 煤气传感器

VD1为防电源反接二极管，防止接线时错误而损坏报警器。C1为滤波电容，为MC34063提供12V电源电压，MC34063为Analog公司生产的电源转换芯片，其外形见图3，内部结构见图4。其中引脚1为内部开关管的集

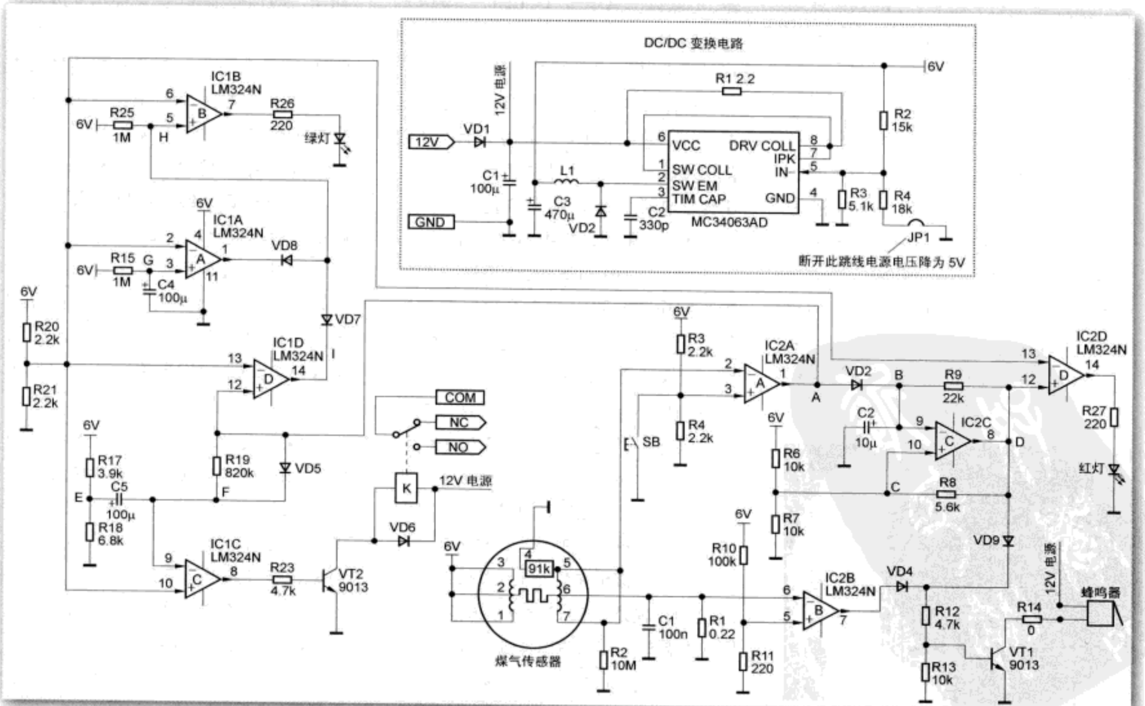


图2 煤气报警器电路

电极，2脚为内部开关管的发射极，3脚为内部振荡器的外接电容，4脚接电源地，5脚接输出电压取样端，6脚为输入电源端，7脚为过流保护取样输入端，当该点电位比6脚低300mV时保护电路动作，使开关管无脉冲输出。本例中电流取样电阻为R1，当输出电流在电阻R1上产生的压降超过300mV时保护电路动作，由此可知该保护动作电流为300mV/2.2Ω≈136mA。8脚为内部开关管推动级晶体管的集电极。

该电路工作时在2脚输出开关脉冲，当开关信号处于上升沿时，电流通过电感向C3充电，当脉冲处于下降沿时，由于在电感两端产生左正右负的自感电动势，该电动势经肖特基二极管VD2继续向电容C3充电，从而输出平滑的直流电，该输出电压经R2、R3、R4分压后，输送到集成电路第5脚取样端，当5脚电压超过芯片内部的基准电压（1.25V）时，内部比较器反转，关断推动级三极管VT2的基极脉冲信号，从而降低输出电压，达到稳压的目的。

整个电路工作过程如下：当电路开始通电后，6V电源给传感器2、6脚之间的内部电热丝通电加热，R1为电热丝电流取样电阻。由于刚通电时传感器温度还没有达到正常值，传感器处于不稳定状态，1、3脚与5、7脚之间的感应电阻偏大，由于分压电阻R2的下拉作用，造成7脚电位偏低，该电位施加于比较器IC2A的负输入端，当其电位低于正输入端的3V时，比较器输出低电平（A点），用于驱动后面的振荡器和蜂鸣器工作，发出声光报警，约经过十几秒后传感器达到正常工作状态后，声光报警自动停止。

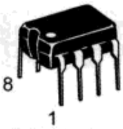


图3 MC34063

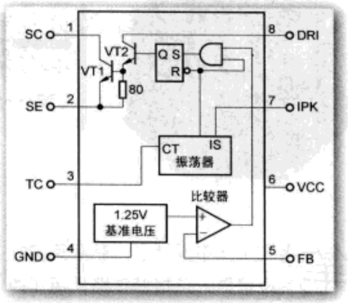


图4 MC34063内部结构图

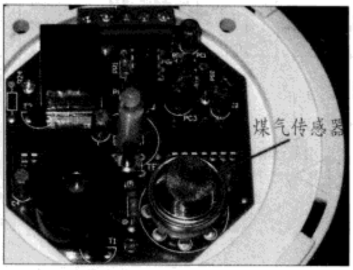


图5 报警电路实物

R1、R10、R11、IC2B构成电热丝检测电路，比较器IC2B的正输入端电位为R10与R11的分压（13.2mV），当电热丝的电流大于60mA时，在R1上形成大于正输入端的电压（13.2mV），使比较器输出低电平，三极管VT1截止，蜂鸣器无声音。当电热丝电流小于60mA时，R1上端电压低于13.2mV，比较器翻转输出高电位，该电位经VD4、R12、R13加于三极管VT1基极使其导通，使蜂鸣器发出长鸣声，作为故障提醒。

随着预热工作的完成，传感器感应电阻达到正常值，比较器IC2A负输入端电位低于正输入端电位，比较器翻转，A点输出高电位（4.6V），电路无声光报警输出。当空气中的煤气浓度超过规定值时，传感器内阻变小，致使比较器IC2A负输入端电位高于正输入端，A点输出低电位，电路产生声光报警。按钮TEST为测试按钮，按下该按钮使比较器正输入端电位直接下拉为零，比较器输出低电平报警信号。

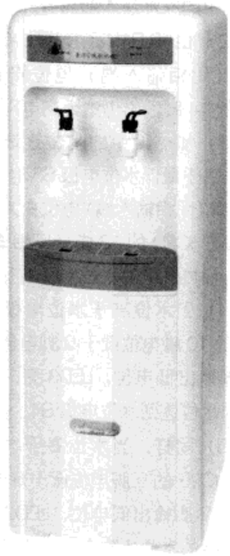
IC2C、R9、R8、C2、R6、R7构成脉冲振荡电路，用于产生间断的声光报警信号。当有报警时A点为低电平，二极管VD2反向截止，电容C2通过R9向8脚放电（因不报警时A点为高电位，该电位通过VD2向C2充电，使C2电压保持在3.9V左右，该电位高于比较器正输入端，于是IC2C的第8脚输出低电位），随着电容的放电，B点电位逐渐降低，当该电位低至1.65V附近时，比较器正输入端电位高于负输入端，比较器翻转，IC2C的8脚输出高电位，该高电位通过R8反馈到正输入端，使得该点电位进一步升高，同时IC2C输出端8脚经由R9向C2充电，当C2两端电压达到3.65V附近时，电路再一次翻转，重复上一次的过程，周而复始产生周期振荡。

IC1C、R17、R18、R19、C5、VD5构成继电器输出延时电路，防止继电器误动作。当没有报警信号时，A点电位为高电位（4.6V），该高电位经VD5和R19加至IC1C的负输入端，使其电位高于正输入端的电位（3V），比较器输出低电平，VT2截止，继电器无动作。而当有报警时A点电位变成低电平，此时R17、R18的分压E点（3.8V）经R19向A点充电，随着时间的推移充电电流逐渐减小，F点电位逐渐降低，当其电位低于正输入端的电位（3V）时，比较器翻转输出高电位，VT2导通，继电器吸合输出报警信号。该电路的延时时间经过计算为33s，用于防止预热或者短时间煤气浓度超标而对外输出报警，避免不必要的麻烦。VD6为继电器线圈续流二极管，COM为报警输出公共端，NC为常闭触点，NO为常开触点。

绿色发光二极管用于状态指示，R26为限流电阻，IC1B为该发光二极管驱动电路，IC1A、R15、C4构成加电时的延时电路，VD7、VD8构成一个与门电路。不过该电路中，当A点为高电位时，电容C5会施加约0.7V反向电压，不知道会不会对该电容产生不良影响，希望和广大朋友一同探讨交流，我的联系邮箱：flyICp@yeah.net。

普通饮水机的『节电、健康化』改造

◎滕今朝



说起家电节电，人们自然会想起冰箱、空调等耗电大户，而躲在客厅一角默默无闻的普通饮水机，其能耗问题却常常被人忽略。据分析，当功率为600W的饮水机处于保温工作状态24小时，其耗电近1度，耗电量超过电冰箱。不仅耗电，而且由于饮用水重复加热，水质不新鲜，易结垢，不利健康。除此之外，目前几乎所有的普通饮水机的凉、热水并未分开，很多时候我们喝的第一杯是开水，但是随即大量凉水进入加热器，在下一次加热器加热之前，我们喝的都是凉热混合水，不够卫生。

本文介绍的“省电、健康型饮水机”克服了这两个问题：对饮水机内部电路进行了设计和改造，以CD4541控制加热器的通电时间，达到节能的目的。本设计可以保证在开水用完之后，再注入凉水。这样避免了凉、热水混合，饮用不卫生的情况，并且设置了开水水位指示。

该“省电、健康型饮水机”的结构与普通饮水机基本相同，也适合普通饮水的改造，这两个功能的电路相互独立，可根据需要，随意选择，成本低廉。

电路的组成

整个电路包括以下两部分：

1. 省电控制电路

如图1所示，包括延时电路和驱动电路。

(1) 延时电路：包括集成电路IC1 (CD4541)，电阻R2、R3、R4，电容C4，按钮SB和开关S1。

(2) 驱动电路：由R1、晶体管VT1、继电器K、二极管VD1组成。

2. 凉、热水分开及水位指示电路

如图2所示，包括基准电压电路、水位比较电路、驱动电路。

(1) 基准电压电路：由电阻R6、R8、R11，二极管VD3、VD4组成。

(2) 水位比较、指示电路：由四运放IC2 (LM324)，水位电极S2～S5，电阻R5～R17，指示灯LED1～LED4组成。水位电极S2～S5自上至下依次安装在加热器中，见图3。

(3) 驱动电路：由R18、晶体管VT2、电磁阀L1、二极管VD5、VD6组成。

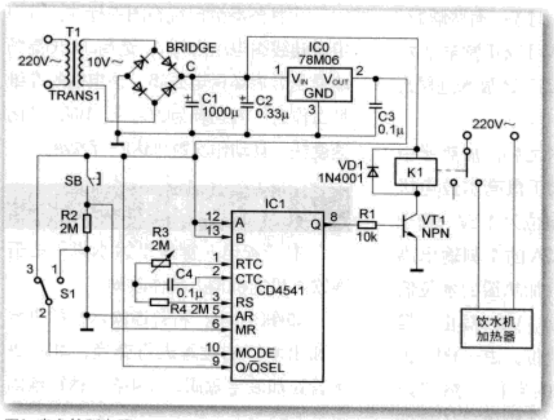


图1 省电控制电路

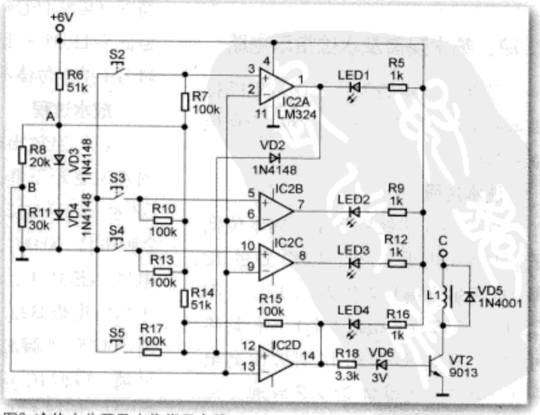


图2 冷热水分开及水位指示电路

工作原理

1. 省电控制电路

（1）延时电路

延时电路以CD4541为核心，通过R3调节饮水机加热器的工作时间。可根据需要，决定饮水机每隔多长时间进行一次加热，间隔时间从几分钟到数小时。

CD4541是采用CMOS工艺制造的可编程定时集成电路。其内部电路主要由振荡器、可编程16级二分频器、自动和手动复位电路、计数器、输出状态的逻辑控制电路等部分构成。

（2）驱动电路

由8脚（Q端）输出端连接晶体管VT1，再驱动继电器K1。继电器K1的常开触点控制饮水机加热器的通、断电。

当8脚（Q端）输出端为高电位时，饮水机加热器通电加热；当8脚（Q端）输出端为低电位时，饮水机加热器停止通电，不再加热。

如果想只加热一次，就不再加热，可将S1接低电平。则加热器在初次加热规定的一段时间后，停止加热。如果长时间后，觉得水太凉，可按一下SB，则加热器又只加热一次，即停。这个功能非常实用，在一两个人饮水时，可大大节省电能，所以推荐大家将普通饮水机进行改造。

2. 凉、热水隔离及水位指示电路

基准电压电路为水位比较电路提供基准电压，A点电位为1.5V，B点电位为0.9 V。

注水过程：

（1）当加热器中无水，或水位低于最低水位电极S5时，则IC2D的12脚（同相输入端）电位为1V以上，而IC2D的13脚（反相输入端）电位始终为0.9V，所以IC2D的14脚输出高电平（5.13V），使晶体管VT2导通，然后驱动电磁阀L1的线圈，通过电磁阀，将大桶中的凉水注入加热器。

（2）由于R15正反馈，IC2D的12脚（同相输入端）电位接近5V，IC2D的14脚输出仍然为高电平。

（3）加热器中的水位逐渐上升，当水位高于最低水位电极S5时，IC2D的12脚（同相输入端）电位变为1.8V，仍然高于IC2D的13脚（反相输入端）电位，加热器中的水位继续上升。

（4）当水位高于水位电极S4时，IC2C的10脚电位低于9脚电位，IC2C的8脚输出低电位，LED3亮，表示加热器的水位达到水位电极S4。

（5）同样，当水位高于水位电极S3时，IC2B的5脚电位低于6脚电位，IC2B的7脚输出低电位，LED2亮，表示加热器的水位达到水位电极S3。

（6）加热器中的水位逐渐上升，当水位高于最高水位电极S2时，IC2A的3脚电位低于2脚电位，IC2A的1脚输出低电位，LED1亮，表示加热器的水位达到水位电极S2。

同时，由VD2拉低IC2D的12脚的电位，由1.8V变为0.75V，所以IC2D的14脚输出低电位，晶体管VT2截止，电磁阀L1关断，停止向加热器注入凉水。同时，LED4亮，表示电极S5也被水淹没。

（7）这样完成了注水过程，并且LED1～LED4显示了加热器中的水位情况（虽然LED4最后才亮，有些缺憾，但此后LED1～LED4可以正常显示加热器中的水位情况，见下述放水过程）。

放水过程：

（1）当放出热水之后，加热器中的水位逐渐下降，低于最高水位电极S2时，IC2A的3脚电位为1.5V，高于2脚电位（0.9V），IC2A的1脚输出高电位，LED1灭，表示加热器的水位低于水位电极S2。同时，VD2截止。但由于IC2D14脚是低电位，由于R15正反馈，IC2D的12脚的电位仍然约为0.75V，所以IC2D的14脚输出还是低

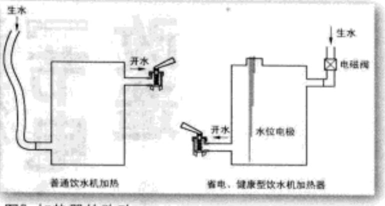


图3 加热器的改动

电位，晶体管VT2仍然截止，不会向加热器注入凉水。

（2）如果继续放出热水，当水位低于水位电极S3时，IC2B的5脚电位高于6脚电位，IC2B的7脚输出高电位，LED2灭，表示加热器的水位低于水位电极S3。

（3）如果继续放出热水，当水位低于水位电极S4时，IC2C的10脚电位高于9脚电位，IC2C的8脚输出高电位，LED3灭，表示加热器的水位低于水位电极S4。

（4）如果继续放出热水，当水位低于水位电极S5时，IC2D的12脚电位高于13脚电位，IC2D的14脚输出高电位，LED4灭，表示加热器的水位低于水位电极S5。

同时，IC2D的14脚输出高电平，晶体管VT2导通，再次驱动电磁阀L1的线圈，通过电磁阀将凉水注入加热器。此后的过程与注水过程相同。

元件选择

元件的参数已经在图中标注。其中电磁阀线圈电压为12V，选用JH-16高频响通用节能环保电磁阀。该电磁阀在维持工作时，其功耗为0.04～0.1W，开闭速度快，其动作次数可达2～7次/s。

制作注意事项

本“省电、健康型饮水机”在普通饮水机的机构上稍作改动。

如图3所示，将普通饮水机的进水口和出水口的位置进行交换，并在进水管处加装电磁阀。用4条不锈钢丝固定在陶瓷条上，作为电极。

适合听力障碍朋友使用的 闪光电子门铃和闪光电子闹钟

◎梁政

据中国残联提供的数据，我国有听力障碍者约有2 057万，占全国总人数的16.79‰ 。关心这些听力障碍人群的生活是建设和谐社会不可或缺的一部分。下面笔者介绍两款适合听力障碍朋友使用的实用电子电器——闪光电子门铃和闪光电子闹钟的制作，这两款制作经笔者周围的听力障碍朋友使用，效果很好，非常实用。

闪光电子门铃的制作

图1为闪光电子门铃的原理图，图2为它的印制板图。音乐IC选用有触发功能的叮咚门铃音乐芯片，S为门铃按钮，是唯一安装在室外的元件，T为市面上最容易购买得到的AC220V/12V 3W小型变压器，选用变压器供电主要为了提高门铃的安全性，因为变压器的磁隔离，光耦的光隔离使控制部分和交流220V安全地隔离开来，使用者即使触及到门铃按钮的金属导体也不会受到伤害。变压器同VD、C1组成全桥整流滤波电路，R1、LED、VD1组成音乐IC的稳压电源电路。发光二极管LED的正向压降因使用的晶体不同，有较大的差异，在额定的工作电流下在1.8~4.0V，常见的是2.1V，再加上VD1整流二极管的正向压降0.707V，得到的串联稳定电压为2.8V左右，若测得串联后的稳压值高于3.5V或低于2.5V，可通过换用LED解决。连接于按钮两端的C2的作用是将按钮引线上感应到的干扰信号短路掉，有效地防止门铃的误触发。VT1将音乐IC输出的微弱音频信号放大，扬声器BL是其音频负载，R2起限流降压作用，若觉得扬声器的声音不够大，可以将R2的阻值降至480Ω，C3提供LP的交流通道。VT1集电极输出的另一路经C4隔直流并由C4、VD2、VD3组成倍压增强电路，经倍压后的信号送到VT2进行再次放大，VT2基极不接正偏置电阻的目的是尽量减少静态工作电流值，再次放大后的半波脉动音频信号流经光耦IC中的LED使其随着

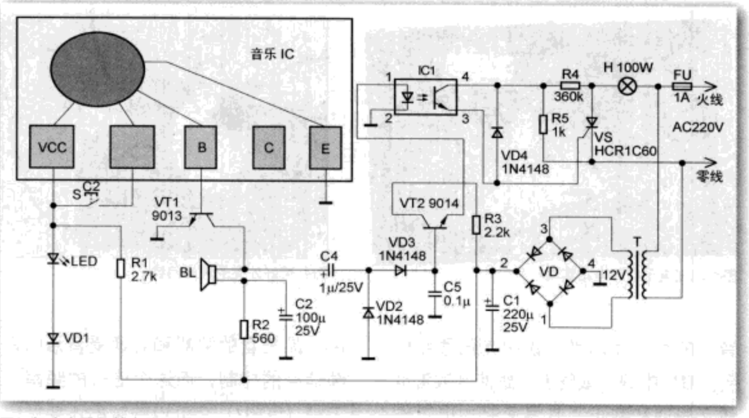


图1 闪光电子门铃电路原理图

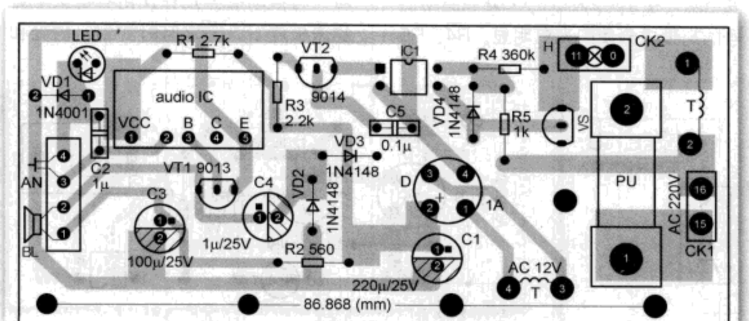


图2 闪光门铃印制电路图

表1

顺号	元件	规格	顺号	元件	规格
1	FU	1A保险管	15	VT1	9013
2	H	15~200W灯泡	16	VT2	9014
3	S	门铃按钮	17	R1	2.7kΩ/1W
4	VD	1A整流全桥	18	R2	580/0.5W
5	LED	红色发光二极管	19	R3	2.2kΩ/ 0.5W
6	T	220V/12V 3W	20	R4	360kΩ/ 0.5W
7	IC	叮咚声音乐IC	21	R5	1K/ 0.5W
8	BL	8Ω扬声器	22	C1	220μF/25V
9	IC1	TLP521-1	23	C2	1μ
10	VD1	1N4001	24	C3	220μF/25V
11	VD2	1N4148	25	C4	1μF/25V
12	VD3	1N4148	26	C5	0.1μ
13	VD4	1N4148	27	CK1	两线接线座
14	VS	HCR1C60	28	CK2	两线接线座

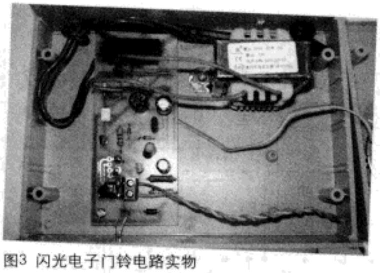


图3 闪光电子门铃电路实物

图4 装好外壳的闪光门铃

音乐的有无而闪光。该闪光信号照射到光耦IC中的光敏管上，致使光敏管也随之导通和截止，其导通时的电流作为单向晶闸管VS的触发电流，使晶闸管导通和截止，当其触发极上失去触发电流时，在50Hz交流电过零点和负半周时关断，其关断后的再导通时间取决于下一个触发信号的到来间隙，而这间隙受到音乐信号变化的控制。

由于晶闸管的关断和导通受音乐IC音频信号的控制，而这个信号的频率比工频（50Hz）交流电的频率还要低，所以在有人按动门铃按钮、扬声器出现叮咚声时，听力障碍的朋友就会感觉到灯泡L随着叮咚声的有无闪烁，知道有人在叫门。图1中的R3是VT2的负载电阻，接于VT2基极的C5滤除脉动信号的高频成分使闪光更明显。R4、R5和晶闸管g-k极间的PN结组成串联分压电路，提供光耦IC1合适的工作点。VD4为光耦IC1的反向保护二极管，FU为1A交流保险管，灯泡应安装在容易被觉察到的地方，可以并联多个，分别放在不同的地方，当选用1A的晶闸管时灯泡总功率不超过200W即可，若需要更大的功率可选用3A的晶闸管。

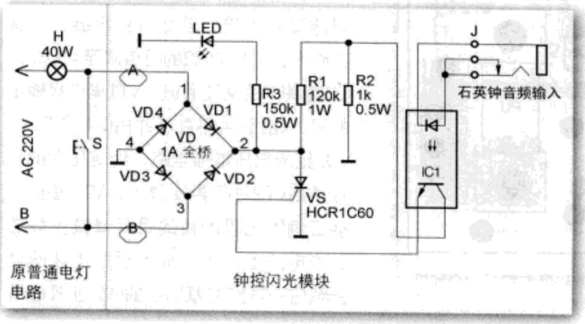
元件参数见表1。

只要元件合格，LED正向压降在2V左右，焊接正确，此电路一般不需要调试。有一定电子基础的朋友都可以制作成功。笔者按150×120通用塑料机箱设计的PCB板的尺寸（含固定孔距），按PCB文件制作好印制板，按要求焊装好元件，试验好后可以直接固定在机箱底板上，3W电源变压器也可直接固定在机箱内，扬声器孔和出线孔请在合适的地方钻孔生成。

安装好元件的实物线路板见图3。装好外壳的闪光门铃见图4。

闪光电子闹钟的制作

图5为闪光电子闹钟原理图，图6为其印制板图，此闪光电子闹钟应采用白炽灯型普通或调光台灯改装，夜间将此闪光电子闹钟放在床头柜上，当定时时间到，闪烁的灯光易唤醒熟睡的人。若有必要也可在灯泡的两端连出一个220V电源插座，外连一个交流或经变压、整流后使用直流的振动器，将振动器固定在使用者枕头附近的床板底下，当定时时间到，闪光和



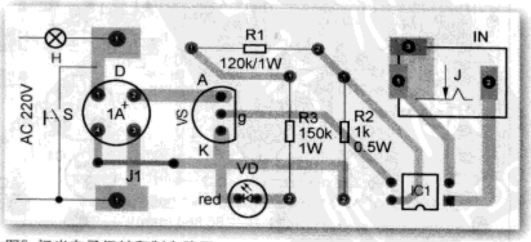


图6 闪光电子闹钟印制电路图

图5 闪光电子闹钟电路原理图

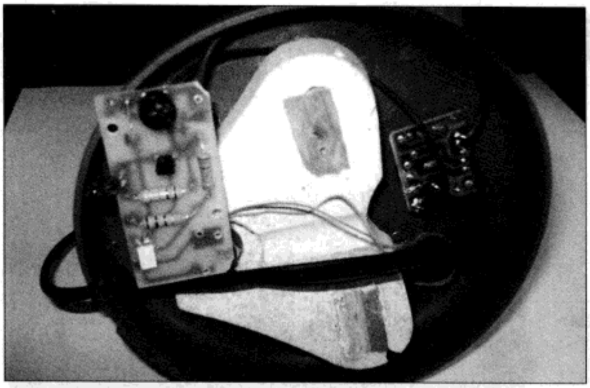


图8 对普通调光台灯的电路改造

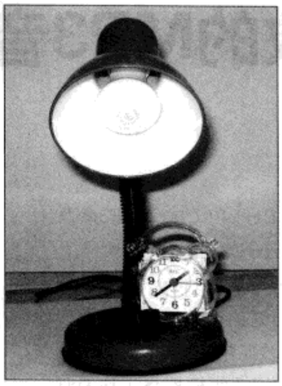


图9 钟控闪光、调光台灯外观

振动同时出现，使沉睡的人醒来。在使用外连220V交流振动器时，要对引线的走向进行合理设计，防止绊倒，以免引起安全问题。

图5中S为原普通台灯开关，整流桥的两个输入端并接在原开关上，LED为闹闪电路工作指示灯。当作台灯使用时，合上S灯泡常亮，此时整流桥被短接，其两端无电压输出，LED指示灯不亮，闹闪电路也不工作。S断开时闹闪电路得电工作。R3是LED的降压、限流电阻，R1、R2组成串联分压电路，为光耦IC1和单向晶闸管触发极提供合适的工作电源。J为Φ3.5mm单声道音频输入插座，它通过一个Φ3.5mm插头接至带闹铃功能的小型石英闹钟的扬声器两端（打开石英闹钟后盖焊接在蜂鸣器两根引线的焊点上，引线通过侧孔引出），小石英闹钟可以直接固定在台灯面板合适的地方，有些台灯买来就带石英小闹钟则更方便改造。

表2

顺号	元件	规格
1	H	40W灯泡
2	S	台灯开关
3	VD	1A整流全桥
4	LED	红色发光二极管
5	VS	HCR1C60
6	IC1	TLP521-1
7	R1	120kΩ/1W
8	R2	1kΩ/0.5W
9	R3	150kΩ/0.5W
10	J	Φ3.5单声道插座

当石英闹钟的闹铃响起时，其频率较低的“嘀嘀”声信号使光耦IC中的LED间断闪光，其中的光敏管也做相应导通、关断，与其相串联的晶闸管g－k极PN结也间断导通和关断，其导通电流触发了晶闸管，使阳极至阴极间导通，当触发极无触发电流时晶闸管过零关闭，其在下一次触发到达时再次导通，导通时交流电的正半周电流通过A－灯泡L－VD1－VS－VD3－B，交流的负半周电流通过B－VD2－VS－VD4－灯泡L－A，所以流过灯泡的还是受控断续的交流电。灯泡闪动的频率就是石英闹钟响闹的频率。

元件参数见表2。

此电路无需调整，焊接正确即可正常工作。

若使用调光台灯改造，则控制板上的A、B两点分别接于原调光台灯电路相应的A、B两点上，见图7。

这种接法与普通台灯的改造不同之处是，无论开关S合上与否，钟控闪光电路总在工作状态，开关S断开时钟控闪光电路单独工作，开关S合上时两电路同时工作，此时只要灯光不是调至最亮，那么定时一到，灯光仍可出现强弱闪烁。在这个状态下可以关掉石英台钟上的闹铃开关，使其无音频信号输入控制电路，使灯光不受闹铃的控制。

安装好元件的线路板见图8。

全部改造好的钟控闪光、调光台灯见图9。

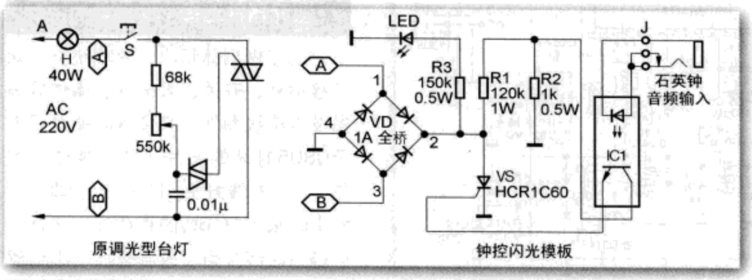


图7 电路改造原理图

精致的MP3音频转发器

◎任杰

一直想用BH1417做个MP3转发器，却苦于找不到合适的外壳，前些天逛电子市场买到一个漂亮的铝合金方盒，粉红的磨砂外表，看起来很不错，于是决定用它当外壳了。

BH1417的性能指标与工作原理《无线电》杂志多期都讲到过。这里提出两点：一是关于BH1417最低工作电压，一般提到BH1417采用5V电源供电，用电池供电就显得很不方便。根据笔者试验，BH1417在3V时完全可以正常工作，甚至低到2.5V也不成问题，加上工作电流很小，在制作时可以用小号的干电池或锂电池供电。另一点是BH1417制作转发器要不要加射频功放。笔者发现，采用3.7V锂电池供电，BH1417第11脚作射频输出（采用软导线作天线）时，发射距离可以达四五十米，而在5V供电、加一级小功率管构成射频功放时，整机工作电流会大大提高，而发射有效距离很难达到百米。并且在没有场强仪的情况下，很难使射频功放达到调谐的最佳状态。所以，在转发器要求的发射距离较小时，没有必要加上射频功放部分。

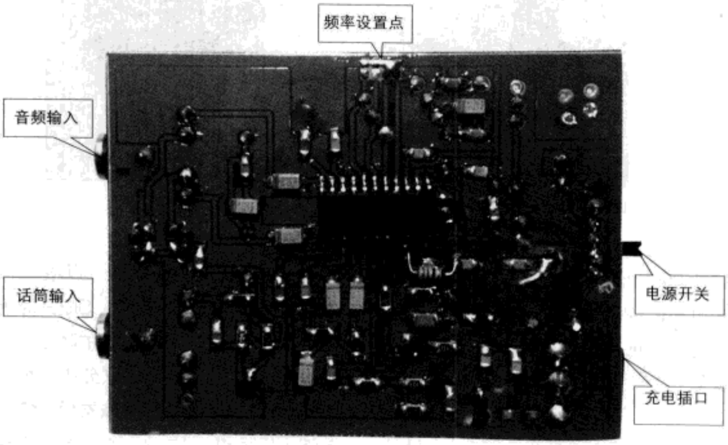


图2 板子的焊接面

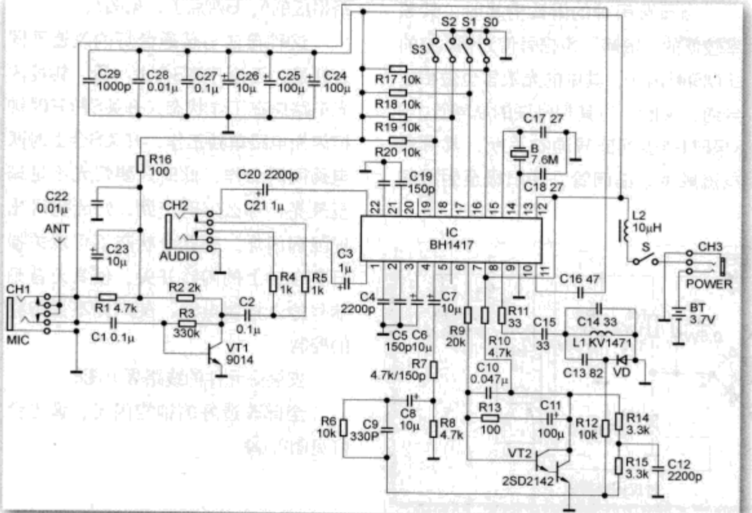


图1 电路原理图

以上两点确定后，就设计了电路。笔者使用的是标准的外围电路，如图1所示。CH1为话筒输入插口，CH2为音频输入插口，输入音频信号时，话筒输入端自动弹开，发射天线采用小型橡胶天线，此时用于MP3音频信号转发；当音频信号输入插头拔出，插入驻极体话筒时，橡胶天线断开，话筒的传输线兼做天线，此时可当作无线话筒使用。使用话筒输入时，考虑到在实际中一般使用单个话筒，所以采用单路话筒放大电路。

元器件选择

为了做到体积小、外观统一，除了接插件、开关、大电容、晶体振荡器及电感线圈外，其余容阻器最好采用0805封装的贴片元件。需注意的是，为了布线方便，R17～R20四个上拉电阻采用1/16W的直插件，这样可以避免跳线。为了改善音质，小电解电容全部使用钽电解电容。L需要自行

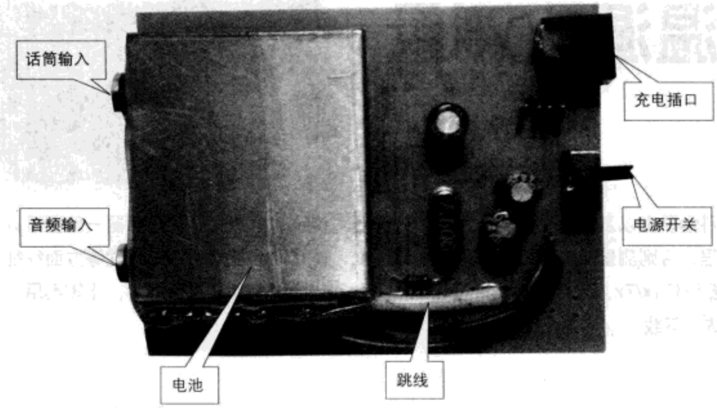


图3 板子的元件面

绕制，如果使BH1417工作在高频段，L可用直径0.5mm左右的漆包线或镀银铜导线在直径4mm的骨架上绕4匝或在直径5mm的骨架上绕3匝脱胎而成。变容管KV1471和达林顿复合管2SD2142不好买，并且价格较贵，笔者试过，KV1471可用其他型号的变容管代替，如BB910等，2SD2142可用一般高频小功率管如9014等代替，但要求β值必须较大，读者也可以考虑用两个β值较小的管子复合搭接组成。电池可以用2~3节1.5V小号电池或用3.7V锂电池。为了使发射天线尽量短小，笔者使用了无线路由器上用的橡胶天线，但这种天线与工作频率不匹配，使得发射距离大打折扣（实测发射距离只有十几米），不过这个范围已经能满足笔者的需要了。

PCB板的制作

考虑到制作成本，笔者选用了单面板，PCB的尺寸严格根据外壳尺寸而定。电路十分简单，为了使布线更合理，这里就用手工布线，除了开关、接插件需要自己绘制，其他元件的封装都能在库里找到。完成布线后，板子上的空白处作大面积接地处理，这样可以一定程度上减少干扰。最后板子做出来后，由于笔者粗心，少画了一条线，因此出现了图3中那条带套管的跳线。

焊接与调试

板子做出来后，笔者迫不及待地焊接好各个元器件，由于有几个贴片元件没有找到，就用直插的代替了，焊接好的板子见图2（焊接面）和图3（元件面）。通过S0—S3设置好发射频率，将收音机调到该频率上，通上发射机电源，一会儿后听到“嘟”的一声，锁相环将频率锁定，收音机里几乎听不到背景噪声，效果比买回套件制作的明显要好。接着拨动线圈，调整线圈匝间距离，使得锁相环锁定的时间最短。然后可以插入驻极体话筒，根据实际情况调整R4、R5阻值，以调节话筒音量，调整R1大小，以调节话筒灵敏度，至此调试工作就算是完成了。

组装

接着是将整个板子、电池装到外壳里，装上橡胶天线。在外壳上打孔时需要注意使孔的大小、位置严格与电路板上的对应。电池用热熔胶固定在电路板上的空白处，天线地端通过配套的螺钉与外壳相连，最后一起焊接到电源地上，见图4。拧上螺丝，制作便完成了，见图5。看一看，还算精致吧！

笔者用的是430mAh的锂电池，充电器使用一般的手机或MP3充电器，注意测一下充电器输出电压是否为4.2V左右，以防有些劣质产品输出电压过高。实际测得，充满一次电，使用时间在10小时以上。细看这个小东西，除了成本显得有些高外，各方面性能还是不错的，不过重在享受制作的过程与完成后的成就感，花点钱也值。

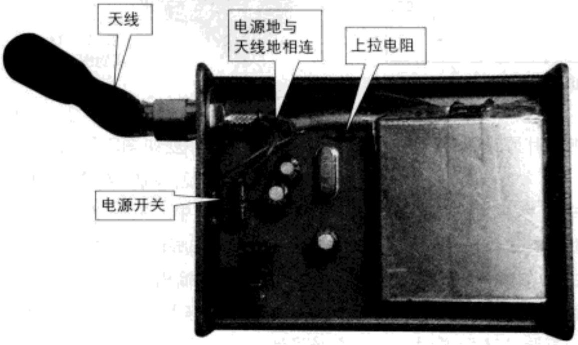


图4 把电路装入精致的外壳

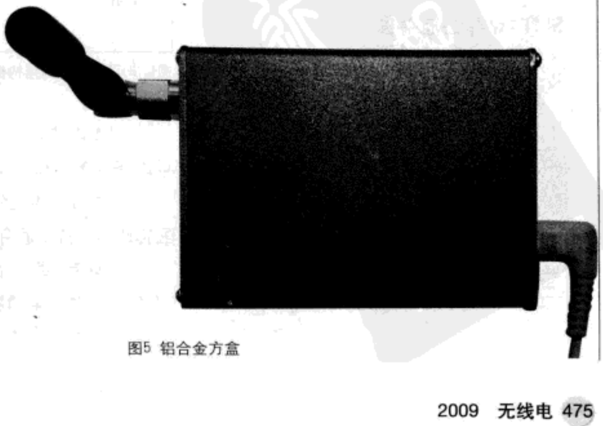


图5 铝合金方盒

实用的数字式温湿度测量电路

◎苏林　魏五星

温度、湿度测量在仓储管理、气象观测、科学研究以及日常生活中应用都十分广泛。传统的模拟式湿度传感器一般要设计信号调整电路，并需经过复杂的校准和标定过程，否则测量精度难以保证，且在线性度、重复性、互换性、一致性等方面往往不尽如人意。笔者采用了一种数字式专用传感器SHT1x/7x，配合单片机，设计了一种数字式温湿度测量显示组件，比较实用，特介绍给读者。本文设计的源程序可从本刊网站上下载。

电路原理图如图1所示，实物电路如图2所示。电路以STC89RC52型单片机为核心进行控制。STC89RC52是一款采用增强型内核的51单片机，其工作电压为5.5~3.8V，工作频率可达80MHz，支持ISP/IAP（在系统编程/在应用编程），抗干扰抗静电能力强。内部硬件资源比较丰富，包括8K字节程序存储器、512字节RAM、2K字节EEPROM、双数据指针，8个中断源，3个定时器，多达36个I/O口(LQFP44封装新增P4口低四位)、看门狗和MX810专用复位电路等。能够满足温湿度测量显示，以及读者进行功能扩展的需要。

J1为单片机的ISP在系统编程插座，可通过与STC单片机配套的ISP专用下载线或USB转TTL串口线，利用STC单片机提供的下载软件将写好的程序写入单片机。

为降低整机功耗，由VT1、VT2及其外围电路构成LCD背光自动启闭电路。当外界光线较弱时，光敏电阻R7的阻值大，VT2因基极电压高而导通，并迫使VT1导通，从而点亮LCD背光源。当外界光线较强时，光敏电阻R7的阻值小，VT2因基极电压低而截止，导致VT1截止而关闭LCD背光源。实际使用中，也可将R7换成一个自锁按钮开关，手动控制LCD背光源的亮灭。

SHT1x/7x系列数字式温湿度传感器介绍

SHT1x/7x是瑞士Sensirion公司推出的一种可同时测量温度、湿度和露点的新型温湿度传感器。它无需外围元件就能直接输出湿度、温度等指标的数字信号，可以有效解决传统温湿度传感器的不足。其内部结构如图1所示。

SHT1x/7x性能参数

电源适用范围：2.4~5.5V。

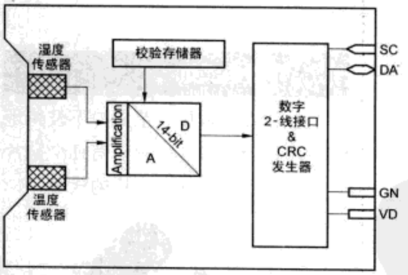


图1 SHT1x/7x内部结构框图

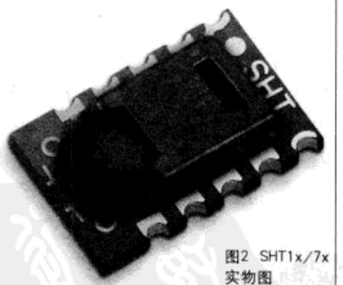


图2 SHT1x/7x实物图

表1 SHT1x/7x温湿度传感器选型说明

型号	测湿精度[%RH]	测温精度[°C]在25°C	封装
SHT10	±4.5	±0.5	SMD（LCC）
SHT11	±3.0	±0.4	SMD（LCC）
SHT15	±2.0	±0.3	SMD（LCC）
SHT71	±3.0	±0.4	4-pin单排直插
SHT75	±1.8	±0.3	4-pin单排直插

工作电流：在测量时为550μA，平均28μA，休眠3μA。

可与5V或3V工作电压的单片机直接配套使用，特别适合低功耗工作场合。

测量精度：在20℃条件下为0.5℃，湿度测量精度为±3.5%。

SHT1x/7x系列传感器的选型说明如表1所示，实物外观如图2所示。其管脚定义为1脚GND、2脚DATA、3脚SCK、4脚VDD。其中，采用SMD封装的SHT1x系列的5~8脚均为空脚。

传感器的数字输出信号，通过两线式串行接口直接连到单片机，便于进行系统设计。

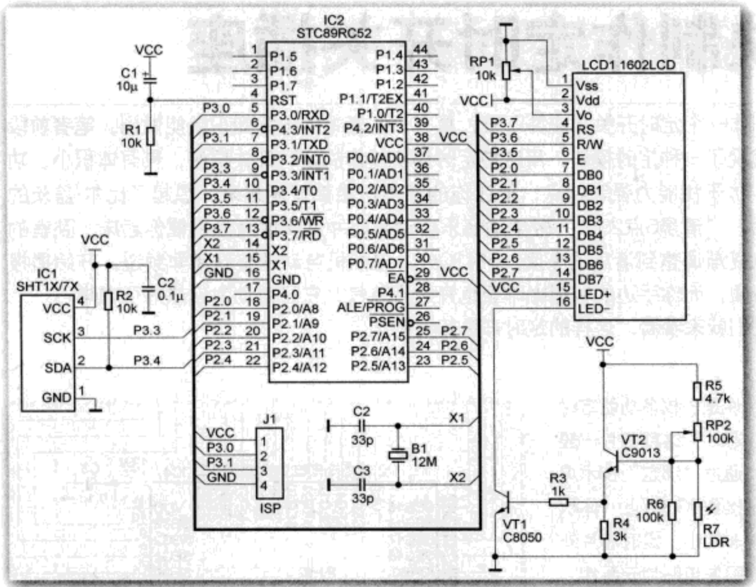


图1 温湿度测量电路原理图

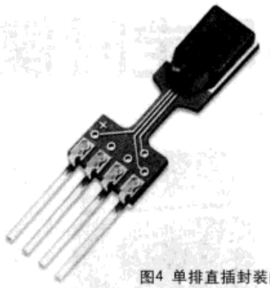


图4 单排直插封装的SHT7x

TIPS

需要注意的是，图1电路中电位器RP1调节如果不当，可能导致液晶屏上没有任何显示。许多爱好者在使用1602液晶显示模块时，往往容易忽视这个问题，导致一发现系统上电后液晶屏没有任何显示，就以为是硬件电路没有焊好，或是程序编制、烧录方面出了问题。笔者调查发现，新购买的此类精密电位器的滑动点一般都位于一端，是造成此类问题的原因。问题虽小，但仍值得引起重视。

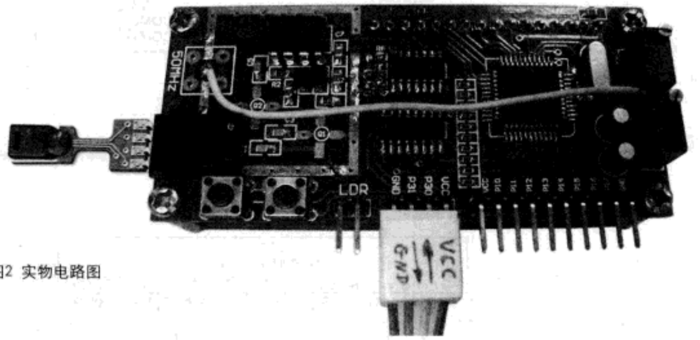


图2 实物电路图

图3 温湿度液晶显示屏

RP2用于调节背光自动启闭的光线照度阀值。

RP1为LCD的液晶显示对比度调节电位器，一般使用3296型等精密电位器。使用过程中，仔细调节该电位器可使液晶屏显示的字符明亮而没有阴影。液晶屏显示见图3。

C2为去耦滤波电容，应就近跨接在SHT1x/7x的VCC和GND之间。在PCB上直接焊接SHT1x/7x（特别是表面贴装的SHT1x）时，为减小PCB板温升对测量准确性的影响，应将其安装在PCB板的边缘，且最好将其两侧各镂出一条空槽，使其形成一个相对独立的单元。外接引线连接时，一般使用单排直插封装的SHT7x，见图4，并注意尽量缩短导线长度。如果SCK时钟线和DATA信号线相互平行且距离超过10cm，则有可能出现信号串扰，从而导致通信失败。必要时，可通过在两根连线之间配置VDD、GND线的方法来减小杂散信号的串扰。

本文介绍的电路主要针对温湿度的测量和数据显示。实际上，我们还可以对程序进行修改充实，发挥其更大的功用。比如，可以利用单片机的I/O端口，实现对高低温告警、通风除湿等外部电器设备的自动控制等，也可以利用单片机的串口和无线数传模块，将温湿度的有关数据以无线数据传输的方式发送到远程的显示终端，实现远程的温湿度数据采集。除此之外，如果换用内置A/D第二功能的单片机，则还可以充分利用该功能，接驳传统的线性电压或线性电流输出型的传感器，实现1~8路的电压、电流、流量、液位、压力等物理量的测量。

模块应用实例

利用定时模块制作定时开关插座

◎徐江伟

制作一个定时开关插座并不难，具有一些基本的电路知识就能做到。笔者前段时间发现了一种定时模块，用这种定时模块制作的定时开关插座，具有体积小、功耗低、抗干扰能力强等特点，能让你的家用电器都智能起来。想起了比尔·盖茨的一段话：“清晨6点20分，轻柔的音乐自动响起并逐步增大音量催你起床，卧室的光线也逐渐调整到清晨的亮度。6时30分，电视机自动调整到新闻频道，开始播报当日新闻，而你手边的智能咖啡壶也开始冒热气，它已自动为你热好了咖啡……”下面我们就来看看，这样的定时开关如何制作。

笔者在市场上“淘”到了一种简单易用的定时模块，用这种定时模块设计了一款家用定时浇花系统，使用效果很好，还被北京电视台《第7日》栏目进行了专门报道。本文中笔者为您介绍用这种定时模块设计的定时开关插座。类似的定时模块市场上有很多，读者可参考此文介绍的模块相关功能选择购买。

定时模块介绍

让我们先了解一下这款智能定时控制模块，见图1。定时模块的核心部件是一枚多功能定时芯片，这款芯片一般通过“绑定”技术焊接到PCB板上，体积非常小。定时芯片外围使用贴片元器件，采用表面安装技术，使整个模块体积非常小。如果希望将该芯片集成到系统中，还可以自己设计PCB，直接将定时芯片焊接到自己的系统板上。

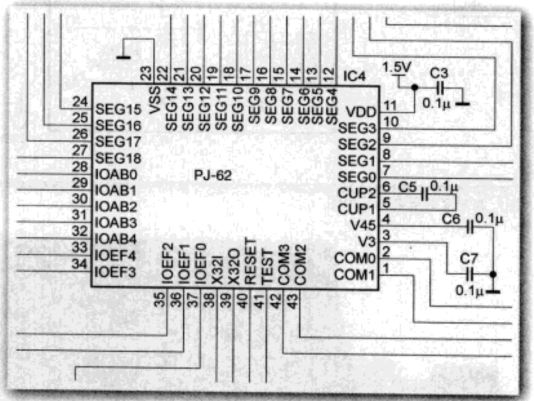


图2 芯片引脚图

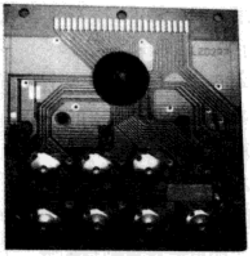


图1 定时模块的外观

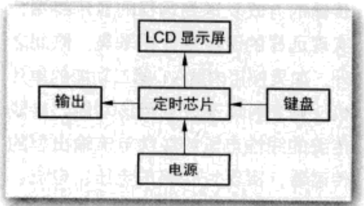


图3 模块框架图

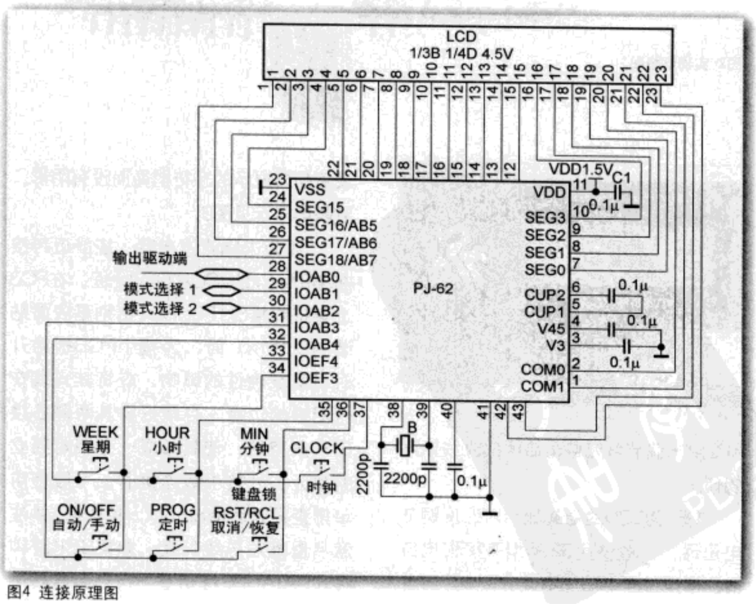


图4 连接原理图

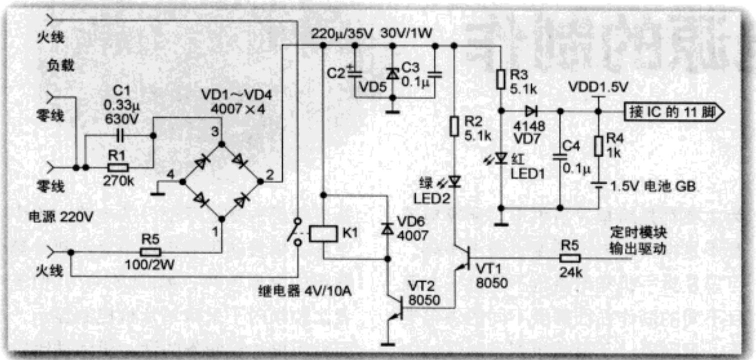


图5 电源用及开关控制电路原理图

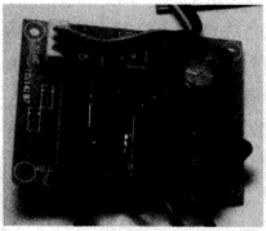


图6 电源及开关控制模块电路板实物

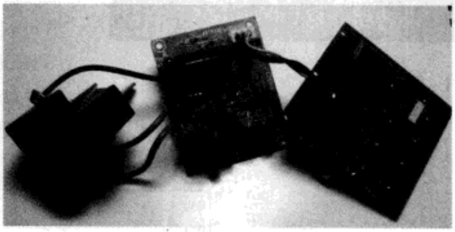


图7 系统总体连接图

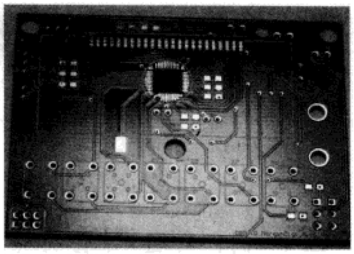


图8(a) 自动浇灌系统定时芯片安装面

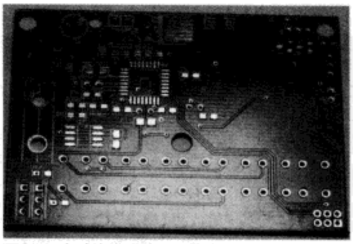


图8(b) 自动浇灌系统AVR单片机面

模块中有LCD显示屏，可显示各种时间及相关的信息。整个模块具有体积小、功耗低、工作温度范围宽、抗干扰能力强、程序稳定等特性，并且脉冲测试通过了3500V电磁干扰。可实现多功能编程控制，广泛应用于各种需要定时控制的系统中。

定时芯片有电源接口、LCD控制接口、键盘控制接口、输入输出接口等，见图2。定时模块的几个组成部分如图3所示，模块的电路原理图参见图4。

电路工作原理

笔者设计的电源及开关控制电路如图5所示。电源输入部分采用了阻容降压，由降压电容C1、泄放电阻器R1、整流二极管VD1~VD4、限流电阻R5、滤波电容器C2、C3、稳压二极管VD5组成。交流220V的上半部分的火线和零线为定时模块提供工作电压。交流220V电压经过C1降压、VD1~VD4整流、C2~C3滤波和VD5稳压管稳压后输出30V的直流电压，然后经过红色LED1、R3、VD7、R4和1.5V的电池为模块提供1.5V的工作电压，并且当断电后，1.5V的电池还可以工作一段时间，直到将电池耗尽。其中红色的LED兼做电源指示灯。

定时模块输出驱动端的开关信号通过三极管VT1、VT2等元件构成的放大电路放大后，驱动继电器K1工作。在开启的状态时，输出驱动端输出高电平，继电器吸合，在关闭的状态时，定时模块输出驱动端输出低电平，继电器释放。绿色LED2为系统开启输出状态指示。其中继电器选择4V/10A的直流继电器。

图6为笔者焊接后的电源及开关控制模块电路板。其中左上角的三线接头是该电路板与定时模块的连接线，分别为电源线、地线和控制信号线。下面的3根线分别接交流220V的火线和零线。图7所示为该开关插座的系统总体连接图。

其他用途

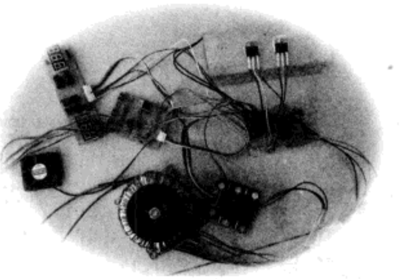
笔者用该定时芯片设计的一款自动浇灌控制器的设计已经完成，并且PCB电路板已经做出，见图8。笔者将该定时芯片和LCD集成到了一个AVR单片机系统中，利用定时芯片的定时开关功能来控制一个电磁阀的通断，从而达到灌溉的自动控制。在制作PCB时，一定要使用铜箔镀金，否则定时芯片将不能绑定到PCB上。

综述

这款定时模块和其核心定时芯片有着广泛的用途，笔者的使用只是一小部分，读者可以发挥自己的想象，将其应用到更多的场合中去。

0~30V可调电源的制作

◎叶士良



笔者之前做的数码管电子钟、LED点阵数字钟、红外发射与接收等，都是用手机充电器作为电源，因为主要都是给单片机供电，所需电流都不是很大，电压精度也要求不高。可总是拆手机充电器也不是办法，而且不同的制作往往需要不同的供电电压，见附表，于是就想到了制作一个可调电源。

附表 常用电压列表

常用电压(V)	用途
1.5	代替单节干电池给单节干电池充电等
3	遥控器、剃须刀等
5	单片机目标供电等
12	继电器、风扇、IC、电池充电等
15	音箱、各类小制作等
24	电池充电、电机控制板等

电路介绍

1. 显示电路

在设计可调电源的电路时，笔者首先考虑的是显示部分的电路。不少市场上销售的可调电源中显示部分都是用的专用芯片，如ICL7107。但笔者比较倾向于采用单片机控制显示，因为用单片机制作的话，灵活性比较高，显示的内容自己容易掌握。现在很多单片机都是带有A/D功能的，这样就可以简化线路。最终笔者决定选用ATMEL的TINY24来完成这项任务。显示部件就采用数码管，驱动比较容易。因为TINY24一共有14个I/O口，所以笔

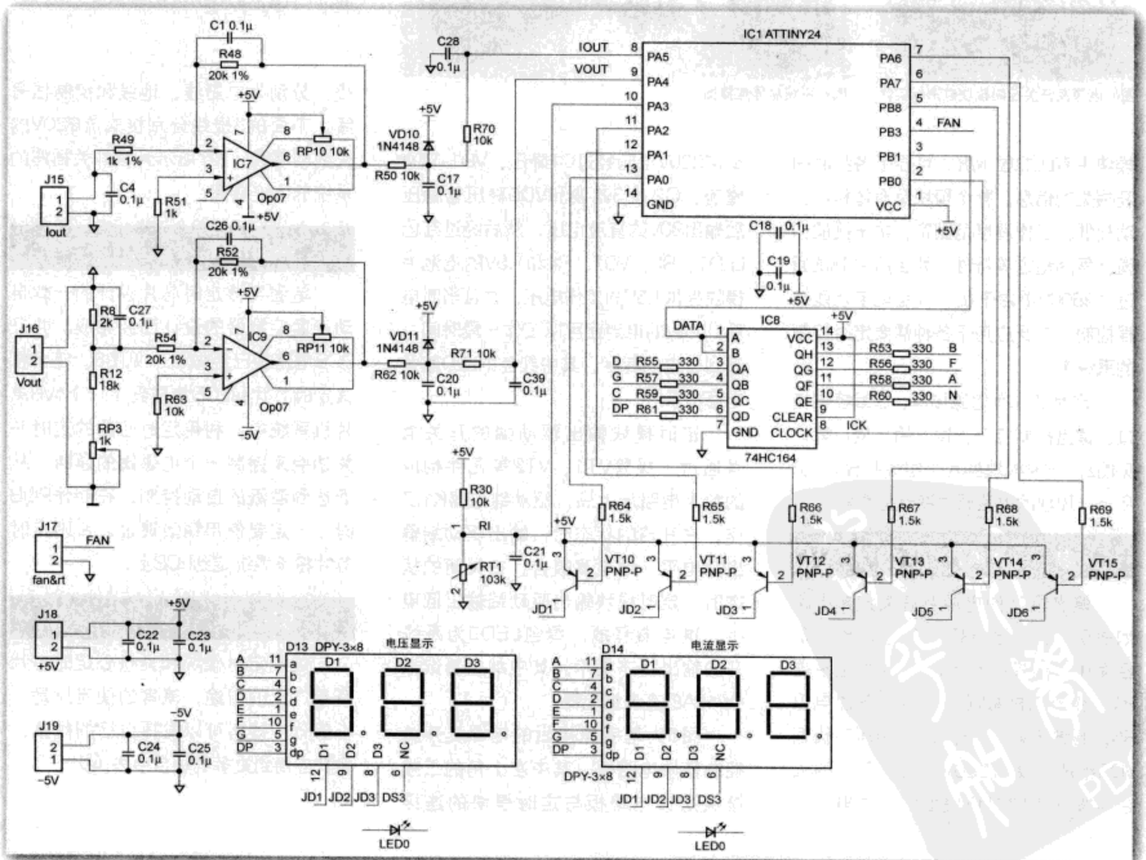


图1 可调电源显示部分的电路图

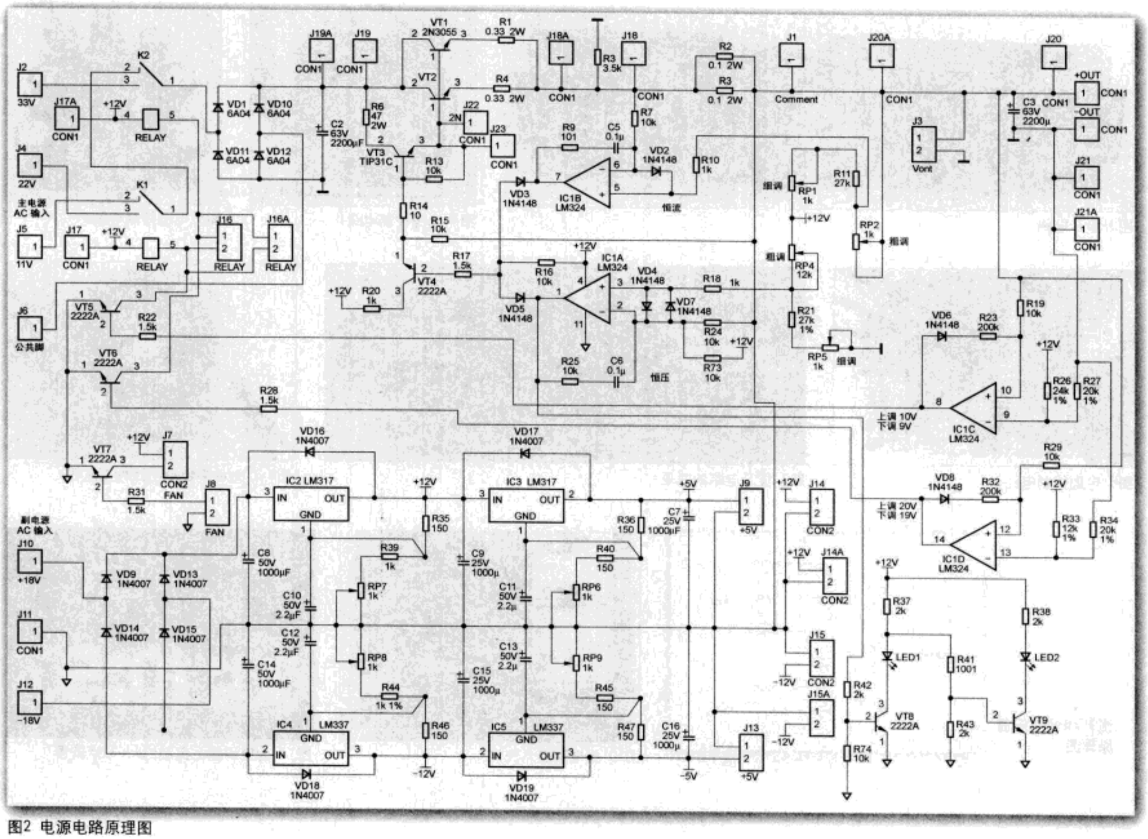


图2 电源电路原理图

者用了一片74HC164来扩展以驱动数码管。整理后显示部分的电路原理图见图1。

2. 主电源部分

这部分主要有2种选择：开关电源或线性电源。一般小功率的可调电源以线性电源为主，其纹波小，干扰小，线路简单，但是效率低，需要大型的散热片。而开关电源则刚好相反。综合考虑后，笔者决定用线性电源，预计最大做30V、3A的可调电源。调整管选用2个2N3055，加一块大散热片。如果用一路输入，在输出电压很低时，比如1V，而输出电流3A的话，调整管上损耗的功率就为：（30－1）×3=87W，这么大的功率浪费掉太可惜了。所以笔者将主电源分成3路，用继电器来选择，当可调电源的输出电压高于或低于设定值时，通过增加或减小输入电压来降低损耗。主电源控制部分用LM324作为主芯片，而副电源部分就用LM317和LM337来实现，给LM324、风扇、单片机等供电。电源部分的电路整理后见图2。

图2中，IC1A控制输出电压，IC1的2脚接基准电压，当3脚电压高于2脚电压时（输出电压低于设定电压），1脚输出高电位，VD5截止，VT4导通，VT3导通，VT1及VT2导通，输出电压上升。反之下降。IC1B等控制输出电流，原理和控制电压一样。IC1C等控制一个继电器，当输出电压高于10V时将继电器常开端闭合，而当电压低于9V时将继电器常开端释放。IC1D等则控制另一个继电器，使其在输出电压高于20V时继电器常开端闭合，而当电压低于19V时将继电器常开端释放。三极管VT8、VT9、发光二极管LED1、LED2等组成工作指示灯电路，指示工作模式，CC（定电流）或者CV（定电压）。IC2、IC3、IC4、IC5等组成+12V、－12V、+5V、－5V电压输出。

具体制作方法

根据上述电路设计的印制电路板可从本刊网站下载。

自制PCB的方法有好多种，这次笔者采用的是感光+显影+腐蚀的做法。制作完成后的印制板和打印出来的图纸对比看看，是否做反。接下来

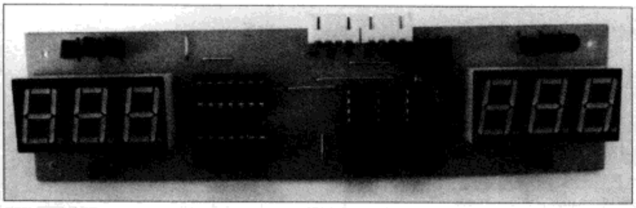


图3 显示电路

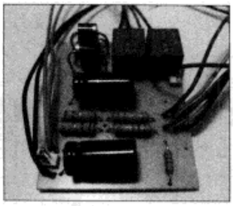


图4 电源控制电路1

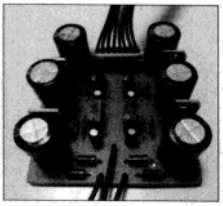


图5 电源控制电路2

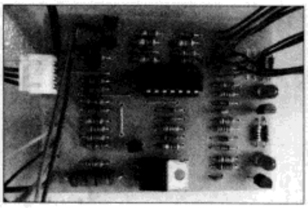


图6 电源控制电路3

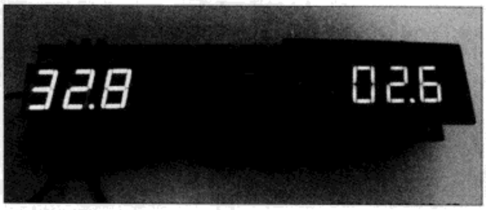


图7 显示电路的效果

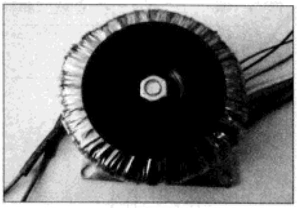
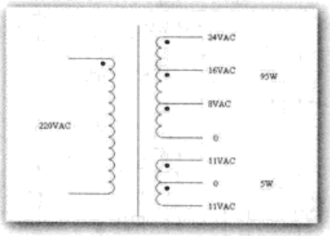


图8 订做的多组输出线性变压器

图9 线性变压器原理图



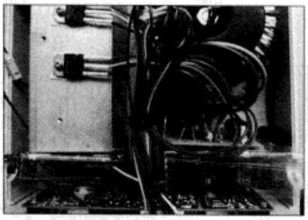


图10 将电路装入壳内

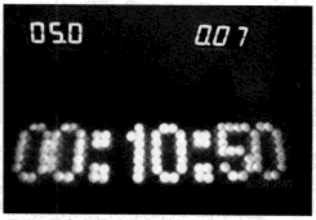


图11 为电源接上自制的8×32点阵屏

再在板子上钻孔。

焊接过程

因为板子上没有丝印，所以焊接要花点时间。不过元件不是很多，还比较容易焊， 焊接好的各部分电路板如图3~6所示。

光板子就有4块，从哪一块先下手呢？笔者决定先从显示板开始。显示字库见表1。

表1

	B	F	A	E	OP	C	G	D	
0	0	0	0	0	1	0	1	0	0A
1	0	1	1	1	1	0	1	1	7B
2	0	1	0	0	1	1	0	0	4C
3	0	1	0	1	1	0	0	0	58
4	0	0	1	1	1	0	0	1	39
6	1	0	0	0	1	0	0	0	88
7	0	1	0	1	1	0	1	1	5B
8	0	0	0	0	1	0	0	0	08
9	0	0	0	1	1	0	0	0	18

显示板完成的功能是显示电压及电流。先来说说电压。我们实际需要测量的是0~30V，而单片机的A/D值最大对应的是5V，如果要留一定的余量,则要求单片机可测量0~35V的电压，这样0~30V就容易测量，不存在满幅了。所以，笔者对电阻分压的比值取6:1。电流检测的电阻，笔者使用的是2个0.1Ω电阻，经过运算放大器放大再给单片机检测。很多运算放大器放大到满幅度时的线性会比较差，笔者算了一下，该电路放大到3V，检测后显示的精度也基本够用了。笔者写了个简单的显示程序，用烧录器写入单片机，装到板上上电，数码管点亮，显示部分制作完成，见图7。板子能正常工作是DIYer最开心的事情了！

下面再调副电源板，笔者订做了这部分电路用到的变压器，环形的，见图8，很有分量，尺寸比用硅钢片的小一点。其原理图见图9。

LM317和LM337的引脚位没装错的话，还是很好调的，可以轻松搞定。该电路需要加装散热片。将4块板子相互连接起来，变压器输出端接至主电源板和副电源板。接下来的工序就是装壳了。可用市场上买的壳钻孔。

然后将变压器、散热片在壳中找到合适的地方放好，用黄胶或螺丝固定在PCB板也用点上黄胶并加重物固定一个角度，板和板之间用绝缘片隔离。将杂乱的线用扎带扎整齐一点，看着也会舒服些，见图10。调整电压到5V，接上笔者自制的8×32点阵屏试用，见图11，发现原来这个点阵屏工作才需要70mA电流，真是省电！

本文制作所需程序、PCB文件、元件列表请到本刊网站下载。

简单实用的电脑遥控接收器

◎潘邦文

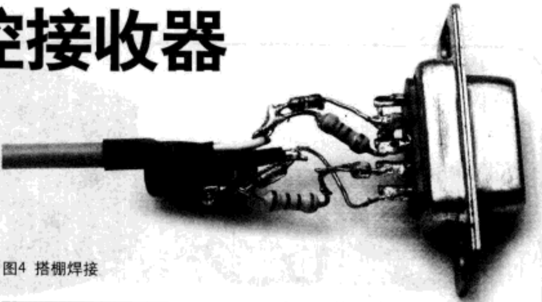


图4 搭棚焊接

笔者喜欢在电脑上看电影、听音乐，希望可以像电视机、DVD机一样可以用遥控器来控制电脑，但是市售的电脑专用遥控器套装售价高昂，不是我等普通消费者所愿意接受的。本着花小钱办大事的原则，笔者制作了一个简单实用的串口遥控接收器，经试用效果良好。好东西要和大家分享，下面将介绍串口电脑遥控接收器的制作和使用。

串口电脑遥控接收器的制作

串口电脑遥控接收器的电路原理如图1所示，如需增加电源指示和接收指示功能，则可按图2所示制作。图2中的TL0038为一体化红外线接收器，其引脚定义如图3所示。实际制作中也可选择其他型号的一体化红外线接收器，但购买时一定要弄清其引脚定义。RS232C为9针D形串口插头（母形）。阻容元件的取值范围较大，可按图中标注值的±20%范围内选取。由于元件数目较少，接线简单，制作时可直接在串口插头外壳里搭棚焊接，然后通过双芯屏蔽线连接一体化红外线接收器，具体制作的实物如图4所示。焊接好后用热熔胶封固，以免元件引脚短路，再合上串口插头的外壳，串口电脑遥控接收器便大功告成，做好的串口电脑遥控接收器，如图5所示。

串口电脑遥控接收器的使用

本文介绍的串口电脑遥控接收器必须配合软件IRCtrl一起

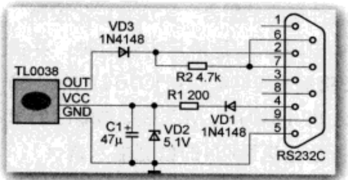


图1. 简易的遥控接收器

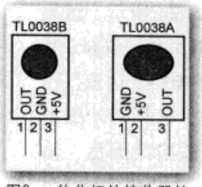


图3 一体化红外接收器的引脚定义

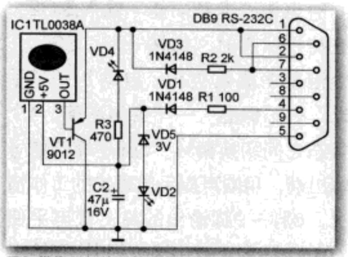


图2 带指示灯的遥控接收器

小贴士

因为IRCtrl能解释红外线遥控器的编码，本串口电脑遥控接收器还可用于检测红外线遥控器的好坏，使用起来十分直观、方便。这对维修人员来说也是个不错的应用。

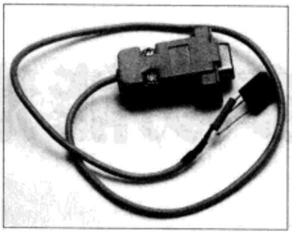


图5 串口电脑遥控接收器

图6 IRCtrl软件窗口

使用：串口电脑遥控接收器接收普通红外线遥控器信号，再通过IRCtrl对信号进行编码分析和学习，就可以使普通红外线遥控器变身成为电脑遥控器。理论上遥控器的按键数量等于其配合IRCtrl后实现的功能数量。所以遥控器按键数目越多，使用越方便。用户也可以利用闲置的家电遥控器作为电脑遥控器。双击IRCtrl安装程序，并一路“回车”，很快便完成IRCtrl的安装，此时系统任务栏托盘出现一个遥控器图标。点击此图标，弹出“PC红外线遥控器”窗口，见图6。这时我们先检查串口电脑遥控接收器能否正常工作：关机状态下把串口电脑遥控接收器插入电脑串口插座（如有多个串口插座则插入COM1接口），开机进入系统后打开IRCtrl，用遥控器对准一体化红外线接收器后按任意按键，如果软件下端的“接收数据”栏能显示8位十六进制的编码（此编码为该遥控器当前按键的编码），则说明串口电脑遥控接收器能正常工作。

展开软件左侧的目录树，可以看到很多常用命令。接下来的工作，就是让软件上的命令和遥控器的按键“配对”。在目录树中选择一个目标命令，如“关闭”，再点击“按键学习”按钮，然后用遥控器对准一体化红外线接收器，按遥控器上的目标按键，当“接收数据”或“输入”中显示当前按键的编码后，点击“应用”按钮，设置即可生效。此时按遥控器上被配对为“关闭”的按钮，即可关闭电脑的当前窗口。其余按键的配对方法同上。点击“保存”后，命令和按键编码的配对文件保持在IRCtrl安装目录的Default.IRC文件中。IRCtrl载入不同的IRC文件，可以实现不同的控制功能。IRCtrl提供现成的命令有数十个，而且还可以自行添加控制命令，因此该软件基本上能满足不同用户的使用要求。

◎林芝松

学修

电磁多功能泡茶炉

一位朋友抱来了一台电磁泡茶炉说，“泡茶炉罢工了，看看是啥毛病。”我先前很少摆弄过电磁炉，心中无数，抱着学习和试试的心态，答应了朋友的要求，于是踏上了学修电磁炉的旅程。

工作原理

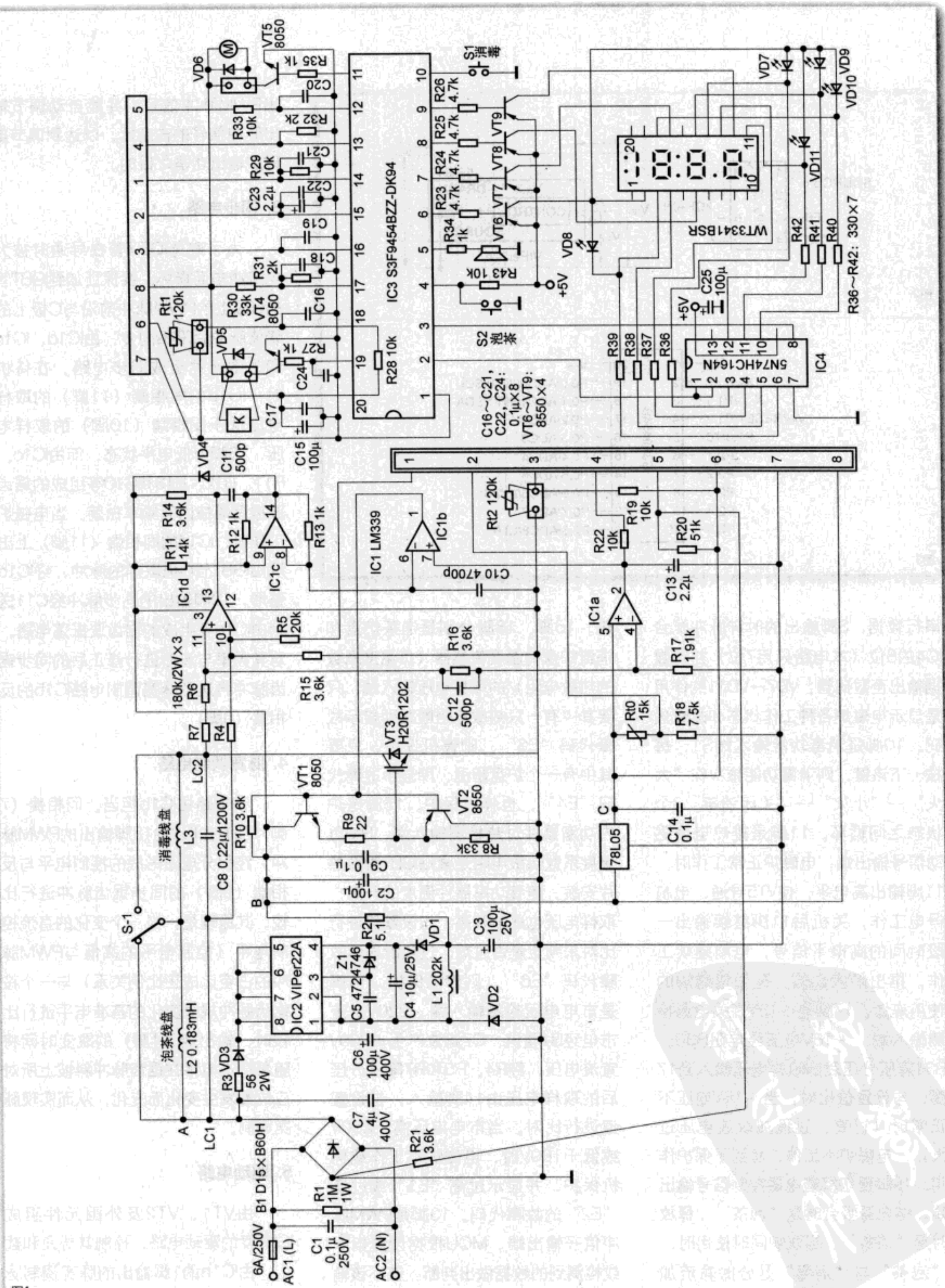
这款泡茶炉的型号是金灶KJ—10E，是广东海利公司近两年的新产品，双炉结构，左边是消毒锅，右边是烧水壶（见题图）。由于没有现成的电路图，笔者只好按照实物绘制了电路原理图（见图1）。该机的电磁感应加热电路与其他品牌的电磁炉（灶）基本相同，是利用电磁感应原理将电能转换为热能的电器。开关管IGBT（VT3，型号：H20R1202）的饱和导通和截止时间（占空比）受控于MCU输出的PWM脉冲信号，C8（0.22μF/1200V）与加热线盘L2（或L3，电感量约为0.183mH）组成频率约为24kHz的并联谐振电路。当电磁炉工作时，加热线盘周围便产生高频交变电磁场，当炉面放置导磁又导电的金属锅（壶）具时，交变的磁场使锅（壶）底感应出强大的涡流而产生高热。下面具体分析一下它的工作原理。

1. 电源电路

+300V直流高压电源是直接由220V交流市电经高压整流桥堆（B1，型号：D15XB60H）整流、C7（4μF/400V）滤波产生的，是加热线盘、IGBT管工作的主电源。VIPer22A（IC2）是小功率智能开关电源集成电路，其引脚功能如图2所示。该集成电路内置场效应开关管、60kHz脉宽调制器、智能调整电路及过流、过压、过热保护电路。它具有外围电路简洁、输入电压适应范围宽、输出电压稳定等优点。本机由VIPer22A和Z1、C5、C4、VD1、VD2、L1、C3等外围元件组成+18V开关稳压电源，主要是供给VT1、VT2、IC1（LM339）、切换继电器和排热电扇使用。+5V的电源也是由+18V电源经78L05稳压，C14滤波产生的，主要是作为基准电压源和供给控制显示电路使用。

2. 控制显示电路

控制显示电路是由8位MCU芯片S3F9454BZZ-DK94（IC3）、8位串入/并出移位寄存器74HC164N（IC4）、数码管、三极管、LED、按键和电阻、电容等元件组成的，并通过8位接插件与主电路板连接。它的引脚功能图如图3所示（详细资料请登录www.amstech.cn网站查阅）。S3F9454B是三星的一款可多次编程的微控制器，内部设计的软件程序与硬件电路相配合，实现智能化控制。本电路MCU是采用内部时钟，并由3脚输出至IC4（74HC164）的CP输入端（8脚），MCU的2脚输出的串行数据送至IC4的数据输入端（1、2脚）。MCU的4脚是上电复位端，同时也是“泡茶功能”输入端S2。在待机状态时，每按一下“S2”，则泡茶功能依次在“自动”—“手动”—“保温”—“关闭泡茶”4个状态之间切换循环。5脚是蜂鸣信号输出端，用响声提示电磁炉的工作情况。6脚～9脚输出的高、低电平使VT6～VT9截止或导通，同时2脚输出


IC3 S3F9454BZZ-DK94
IC1 LM339
IC1a
IC1b
IC1c
IC1d
IC2 VIPer22A
IC4
5N74HC164N
WT3341BSR
78L05
VT1 8050
VT2 8550
VT3 H20R1202
VT4 8050
VT5 8050
VT6
VT7
VT8
VT9
VD1
VD2
VD3
VD4
VD5
VD6
VD7
VD8
VD9
VD10
VD11
Rt0 15k
Rt1 120k
Rt2 120k
R1 1M 1W
R2 5.1
R3 56 2W
R4
R5 20k
R6 180k/2W×3
R7
R8 33K
R9 22
R10 3.6k
R11 14k
R12 1k
R13 1k
R14 3.6k
R15 3.6k
R16 3.6k
R17 1.91k
R18 7.5k
R19 10k
R20 51k
R21 3.6k
R22 10k
R23 4.7k
R24 4.7k
R25 4.7k
R26 4.7k
R27 1k
R28 10k
R29 10k
R30 33k
R31 2k
R32 2k
R33 10k
R34 1k
R35 1k
R36
R37
R38
R39
R40
R41
R42
R43 10k
C1 0.1µ 250V
C2 100µ
C3 100µ 25V
C4 10µ/25V
C5 4724746
C6 100µ 400V
C7 4µ 400V
C8 0.22µ/1200V
C9 0.1µ
C10 4700p
C11 500p
C12 500p
C13 2.2µ
C14 0.1µ
C15 100µ
C16
C17
C18
C19
C20
C21
C22
C23 2.2µ
C24
C25 100µ
Z1
L1 202k
L2 0.183mH
L3
泡茶线盘
消毒线盘
S-1
S1 消毒
S2 泡茶
K
M
A
B
C
LC1
LC2
+5V
B1 D15×B60H
6A/250V
AC1 (L)
AC2 (N)
C16~C21, C22, C24: 0.1µ×8
VT6~VT9: 8550×4
R36~R42: 330×7
图1

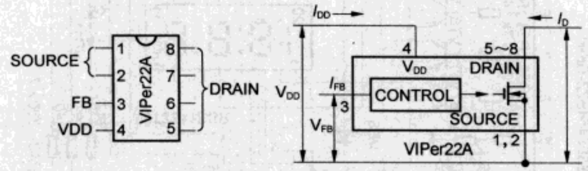


图2

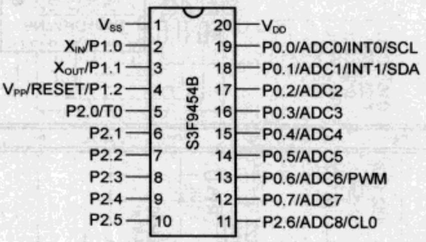


图3

串行数据，3脚输出的时钟脉冲配合IC4的8位（本电路只用7位）并行数据输出至数码管、VD7～VD11的作用是显示电磁炉各种工作状态和故障代码。10脚是消毒功能输入端S1，每按一下该键，则消毒功能依次在“大火”—“小火”—“关闭消毒”3个状态之间循环。11脚是排热电扇驱动信号输出端，电磁炉正常工作时，11脚输出高电平，使VT5导通，电扇得电工作，关机后11脚继续输出一段时间的高电平信号，电扇继续工作，排出炉内余热，延长电磁炉的使用寿命。17脚是+18V开关电源检测输入端，+18V电压经电阻R30、R31降压分压后的取样电压输入到17脚，与设置值比对，当+18V电压不正常时（过高、过低或纹波电压过大），电磁炉不工作，起到了保护作用。19脚是切换继电器控制信号输出端，继电器吸合时是“泡茶”，释放时是“消毒”。当双炉同时使用时，“泡茶”与“消毒”是分时轮流加热。16脚、18脚分别是泡茶炉盘和消毒炉盘的温度传感器（负温度系数的热敏电阻）的取样电压输入端，只要其中有一只热敏电阻断路即显示故障代码“E3”，则停机保护；只要其中有一个炉盘超温，即显示故障代码“E4”，也停机保护。15脚是炉内功率器件过热检测输入端，Rt0负温度系数热敏电阻是紧贴IGBT管散热片安装。随着功率器件温度的升高，取样电压也逐渐升高，与设置值进行比对来判定是否过热。过热时显示故障代码“E6”，则停机保护。14脚是市电电压检测输入端。220V交流市电经B1整流，C7滤波产生+300V直流电压，经R4、R5和R7降压分压后的取样电压由14脚输入，与设置值进行比对。当市电电压高于250V或低于160V时，电磁炉不工作或停机保护，并显示过高“E1”或过低“E2”的故障代码。13脚是PWM脉冲信号输出端。MCU根据设置指令或检测到的数据做出判断：该不该输出PWM脉冲信号，并能自动调节输出脉冲信号的占空比，以达到调节电磁炉输出功率之目的。

3. 同步电路

为了避免IGBT管在导通时被大电流冲击而损坏，要保证加到IGBT管的G极上的PWM脉冲前沿与C极上的峰值脉冲后沿相同步，由IC1d、IC1c和外围元件组成同步电路。在待机时，IC1d的同相端（11脚）的取样电压低于反相端（10脚）的取样电压，13脚为低电平状态，而由IC1c、R11、R12、R13和C10等组成的锯齿波振荡器按固有频率振荡。当电磁炉工作时，IC1d的同相端（11脚）上出现由IGBT管C极取样的脉冲，经IC1d整形，13脚输出的同步脉冲经C11送到由IC1c等组成的锯齿波振荡电路，对其频率与波形进行修正后的同步锯齿脉冲再送到脉宽调制电路IC1b的反相端（6脚）。

4. 脉宽调制电路

该电路由IC1b担当。同相端（7脚）加有由IC3的13脚输出的PWM脉冲，经积分电路形成的控制电平与反相端（6脚）的同步锯齿脉冲进行比较。其原理是：当一个变化的直流控制电平（控制电平的高低与PWM脉冲的占空比成正比例关系）与一个按锯齿脉冲规律变化的基准电平进行比较时，输出端（1脚）的跳变时间将随着直流电平在锯齿脉冲斜坡上所对应位置发生变化而变化，从而实现脉宽调制。

5. 驱动电路

由VT1、VT2及外围元件组成IGBT管的驱动电路，控制其导通和截止。由IC1b的1脚输出的脉宽调制脉

冲加到驱动电路输入端，当IC1b的1脚的脉冲处于高电平时，VT1导通、VT2截止、IGBT管饱和导通。当IC1b的1脚的脉冲处于低电平时，VT2导通、VT1截止、IGBT管截止。

6. 高压峰值检测保护电路

当IGBT管工作时，C极要承受+300V左右的直流电压和谐振脉冲高压。为了防止C极上脉冲叠加后的高压超过极限值而击穿，由IC1a和R7、R6、R5、R17、C12等组成的取样检测保护电路。当IGBT管正常工作时，IC1a反相端4脚的取样电压低于同相端5脚的基准电压（+5V），2脚呈截止高阻状态，不影响积分电容C13上的控制电平，电磁炉按设定的功率进行加热。当由于某种原因（如电源插座跳火，LC并联谐振电容器C8不良、失效或变值，+300V高压滤波电容C7漏电，积分电容不良、失效或变值，或是在提、放锅壶具瞬间等）在C极上激起超高的反峰脉冲，使C极的高压将要达到耐压极限值时，IC1a的4脚的取样电压高于5脚的基准电压，2脚翻转为导通低阻状态，积分电容C13上的电压经2脚泄放，IC1b的7脚电平降低，1脚输出的PWM的脉宽变窄，IGBT管导通时间缩短，高频谐振幅度下降，从而达到IGBT管的过压保护。当超高反峰脉冲一消失，电磁炉即恢复正常加热工作。

维修过程

在绘制电路图的过程中，笔者已对整机除集成电路外的电阻、电容、电感、三极管、二极管等元器件从外观到在线或离线都进行了检测，均未发现异常。首先焊接引线，把主电路板移到机壳外，以便检修。通电，随着“嘀”一声响，显示“E1”故障代码，这说明是“电源电压过高”。测得当时市电电压为222V，正常。按压“泡茶”功能键（或消毒功能键），数码管、指示灯会依次按照说明的4个状态循环显示，一放开手又显示“E1”。接着测量有关接点的电压：测得A点电压为+302V，正常，测得B点电压为+18.4V，说明开关电源正常，测得C点电压为+2.73V，失常。断开+5V电源输出的其中一条跨线，再次测量，还是+2.73V，从而可断定78L05已损坏。此时心中起疑，+5V电压已大为失常，那么控制显示电路为何还貌似正常？回过头来细看，S3F9454B、74HC164的工作电压范围为2～5.5V，而数码管和LED从几个mA到20mA电流却都能发光，只是亮度不同而已，没认真对比是不易发现的。这样一来，控制显示电路能工作也不足为奇了。换上78L05（实测电压为+5.18V），整机功能恢复正常。至此，检修的旅程已结束了，但笔者总觉得尚有几处电路原理还似懂非懂，上述的“纸上分析”是否正确呢？又如上述故障是+5V电压不正常，为什么显示“E1”故障代码呢？锅检电路又是如何工作呢？于是对已修好的整机进行一次测试，并模拟故障状况，看其如何进行保护，以此来验证上述分析是否正确。如果能透彻理解了其工作原理，不仅对本电磁炉出现其他的故障会迎刃而解，而且对检修其他品牌的电磁炉（灶）也有裨益。

模拟故障状况　验证保护过程

1. 模拟市电电压过高过低

当市电电压为220V时，测量IC3的14脚取样电压为1.75V，由计算得出250V时取样电压应为1.99V，160V时应为1.27V。如果直接通过调压器调整电磁炉输入电压大于250V或小于160V来验证，容易造成电磁炉损坏。笔者用30kΩ电阻并联在R5上，接通电磁炉电源，调节调压器，使电磁炉显示“E1”的临界点，测量IC3的14脚电压为2.02V，此时电磁炉输入的交流电压为193V；接着拆下R5上的并联电阻，用20kΩ电阻并联在R29上，同上述的操作，测得显示“E2”的临界取样电压为1.26V，此时电磁炉输入的交流电压为217V。这样电磁炉在安全的交流市电电压范围内验证了在电网电压过高过低时能有效地进行保护（临界取样电压测量值与计算值十分接近）。

2. 模拟功率器件过热

待机时测得IC3的15脚的取样电压为0.43V。挑出8位插头的2插脚，使其悬空，用1只4.7kΩ电位器与2节1.5V干电池组成可调直流电压源，电位器中心引脚接至挑出的2脚。开机，调节电位器，使2脚电压逐渐升高，模拟IGBT管温度逐渐升高。当升高至显示“E6”的临界电压值为2.63V时，让电磁炉停机，从而验证了功率器件过热保护功能。

3. 模拟炉温过高

待机时测得IC3的16脚取样电压为4.70V，随着电磁炉开始正常工作，泡茶线盘温度升高，Rt2阻值下降，取样电压也随着逐渐降低。当降低至设置值时（温度过高），电磁炉显示“E4”故障代码，进入停机保护状态。挑出8位插头的3插脚，使其悬空，用2节1.5V的干电池和1只4.7kΩ电位器组成可调直流电压，采用2中所述方法，当测得取样电压降

至2.03V时转入600W工作，再次降到1.85V时蜂鸣器响3声“嘀”，电磁炉停止工作。消毒炉盘超温保护也用同样方法检验。

4. 模拟+18V电压失常

当电磁炉正常工作时，测得IC3的17脚的电压为0.98V。用1只100kΩ电位器中心引脚串接1个100kΩ电阻后并联在R30上，开机，正常工作时，调节电位器减小并联电阻值，使17脚的取样电压逐渐升高，模拟＋18V电压过高的状况，当取样电压升高到1.22V时，显示“E1”故障代码，电磁炉进入保护状态，停止工作。接着拆去上述R30上的并联电阻和电位器，由1只4.7kΩ电位器中心引脚串接1个3.3kΩ电阻，并联在R31上，在电磁炉正常工作时，调节电位器减小并联电阻值，使17脚的取样电压逐渐降低，模拟＋18V电压过低的状况，当IC3的17脚的取样电压降至0.65V时，显示“E2”故障代码，电磁炉进入保护状态，停机。

本电磁炉修复前显示的故障代码为“E1”，这是由于＋5V电源失常引起的。由上述模拟故障过程得知，不仅当电网电压过高时，出现故障代码为“E1”，而且当＋18V电压过高时，也显示“E1”故障代码。对于显示同一故障代码“E1”，却是可能由3个原因中的之一引起或是由它们组合作用引起的。在市电电压或＋18V电压过高时显示“E1”故障代码，还好理解，因为都由电压过高引起的故障，那么只当＋5V电压过低失常时，为什么也显示“E1”呢？究其原因，发现MCU所设置的基准电压值是在IC3的供电电压为+5V时的值，当IC3供电电压过低时（如+2.73V），基准电压值再也不是原设置值了，也随着下降了许多，那么在市电电压或＋18V电压正常时的取样电压与芯片内已偏离原设置值下降了许多的电压相比对，MCU将做出错误的判断，显示“电压过高”的“E1”故障代码，所以在修理时，对显示的故障代码要具体分析，各个排除。

破解锅检电路

锅检信号是由IC3的13脚每隔2秒钟输出频率约为24kHz的一串脉冲，同时蜂鸣器“嘀”一声短音，但IC3是哪个输入端检测锅检信号来判定有无符合要求的锅（壶）具呢？又是如何检测呢？由电路图分析IC3的14脚和12脚最有可能。前文已述14脚是市电电压过高、过低检测输入端，有没有可能同时又担当检测锅检信号脉冲个数的输入端呢？于是采用如下方法来确定，把8位插头的1插脚（是与IC3的14脚相连接）挑出，使其悬空，由1节1.5V干电池供电，即电池的正端接1插脚，负端接主电路板“地”端。此时14脚上电压为1.5V（此举目的在于保证IC3的14脚的检测市电的取样电压在正常值范围内）。电磁炉接通电源，锅检功能正常，放上锅具，电磁炉即转入加热工作，由此排除14脚的可能性，恢复1插脚为原来状态。现在IC3只剩下12脚是锅检信号的输入端可能性最大了。测量8位接插件5脚（与IC3的12脚相连接）的电压值：在待机和锅检时为0.33V，正常加热时几乎为0V。把8位插头的5插脚挑出悬空，用1节1.5V干电池和1只4.7kΩ电位器组成可调电压源，调节电位器使中心引脚的电压为0.33V，并接至挑出的5插脚上，电磁炉锅检功能失常，即有锅时锅检电路依然在进行检锅，不会转

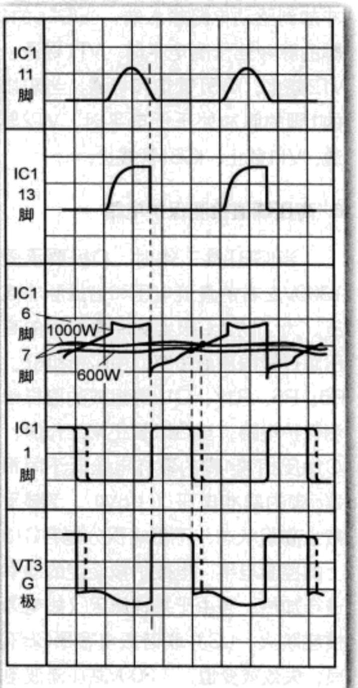


图4

为正常加热工作。调节电位器降低电压至0.23V以下时，这时不论炉面上有无锅具，电磁炉皆处于加热状态。当电压上升至0.24V以上时，不论炉面上有无锅具，皆处于锅检状况。至此，可说明两个问题：一是MCU芯片（IC3）的12脚确是锅检信号的输入端，二是MCU芯片是根据12脚上检测的电压的高低，比对设置的基准电压值，作出有无锅具（或是否符合要求）的判定。单凭电路图分析，电磁炉正常加热，8位接插件5脚上的电压不可能几乎为0V（应为＋5V电压经R20与R21的分压值0.33V）。这个问题令笔者迷惑了，百思不得其解。其间也用示波器测量了有关接点的波形，但都没有答案。是否绘制的电路图出错呢？于是重新对照电路板检查了电路图，电路图没错呀。只是

附表　待机时各IC引脚、接口的电压值（V）

型　号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
LM339	0.24	0	18.3	1.54	5.18	12.4	0	12.4	12.8	5.19	4.44	0	0.27	12.4						
VIPer22A	13.5	13.5	15.3	32	296	296	296	296												
S3F9454B	0	3.9	0.03	5.17	0	3.92	3.92	3.92	3.92	5.17	0	0.33	0	1.7	0.43	4.71	1.05	4.72	0	5.18
74HC164	3.92	3.92	3.95	3.95	3.95	3.95	0	0.02	5.18	3.95	3.95	5.16	5.16	5.18						
8位接插件	1.7	0.43	4.70	0.01	0.33	5.18	0	18.4												

在查对中发现了一个现象，即是R21的接地处安排得比较特殊，不是就近焊接在8位接插件的5脚附近“地”端，而是线路板上一条走线直达高压整流桥堆B1的“–”端附近，R21的一脚就焊接在“–”端极近位置上（在绘制电路图时笔者也曾经发现了这一现象，当时没在意。），同时也注意到作为供给控制显示电路的＋5V电源的“地线”可谓是“漫漫乡间小路”从高压整流桥堆“–”端延伸过来，加上供给VT1、VT2、IC1（LM339）、排热电扇、切换继电器等的＋18V的电源的“地线”也从此小路通过，尤其是VT3的“地线”也通过此小路上特设的一座独木桥——Φ0.5mm×33mm的一条跨线，这样一来电磁炉在待机或锅检时，＋5V电源“地”端与高压整流桥堆“–”端之间的电压差只有0.021V。但当电磁炉炉面上放有符合要求锅具的瞬间，这条“小路”上的压降达0.328V，＋5V电源“地”端为正，整流桥堆“–”端为负，相当于＋5V电源“地”端相对桥堆“–”端垫高了0.328V，因此，8位接插件5脚与＋5V电源“地”(MCU的“地”)几乎是等电位——0V（垫高的电压与R20、R21的分压值相抵消，MCU的12脚的取样电压几乎为0V），电磁炉即转入正常加热工作。这实质上是利用“地线”来检测电流的变化，从而判定有无符合要求的锅具。笔者在破解此迷时，心里暗暗佩服设计师利用此法的巧妙！它既简化了电路，又提高了可靠性，同时也联想到在制作音响电路时一再强调的一点，接地和处理好地线具有何等的重要性了。

几点建议

1. 电路板用焊接引线的方法，移到机壳外进行检测修理，便于操作。

2. 接假负载法。拆去加热线盘接线，用60～100W灯泡接在加热线盘的接线端上，接着开机观察灯泡发亮状况来判断故障的情况，如果不亮或一亮一灭，说明机内无短路故障，灯泡发亮，则说明机内存在短路。在修理或检测的过程中接假负载来试机，可防止故障的进一步扩大。

3. 如果要调换相关的集成电路，脱卸下原集成电路后，最好能焊上相对应的集成电路插座，这样方便调换对比，有利于测试分析。

4. 在带电检测的过程中要注意防止触电，因为此类电路大多是由220V市电直接整流、滤波和用开关电源芯片来产生各种直流电压供电路使用，虽说是“地线”（电路板上人为的“地”端），但对于市电网来说，同样存在触电的危险性，不要随意触摸。修理时最好用带双联开关，电流10A以上的专用排插。平时使用时，也最好用带开关，电流10A以上的排插，不用时由开关切断电源，不要用插拔插头的方法，因插拔过程中，往往容易因接触不良打火，引起高压或大电流冲击而损坏用电器，现实中也不乏此类现象，往往有人诉说：昨天还用得好好的，怎么今天插上就不能用了。

附待机时各IC引脚、接口的电压值和有关接点的波形图（见图4），供检修时参考。

◇作者简介

本文作者林芝松是一位中学物理教师，同时也是一个无线电爱好者。少年时以装制矿石收音机开始自学电子技术，40多年来以《无线电》等电子类报刊、书籍为良师益友，在音响、电器和电子仪器的制作与维修方面积累了丰富的经验，近年来在电子报刊上发表了十多篇文章。图为他正在认真调试功放电路。

非接触式IC卡的维修

◎施红武

非接触式IC卡又称射频卡，主要用于公交、地铁的自动收费系统，也应用在门禁管理、身份证明和电子钱包等方面。该卡由IC芯片、感应天线组成，并完全密封在一个标准PVC卡片中。非接触式IC卡通过内置的天线从读卡器获得电源，再进行数据通信。目前该卡已广泛使用，有着稳定可靠的效果，但是当保管不当或者卡片被过度弯折时，会造成卡片失效，其原因是卡片内置的天线被折断了。这种情况最简单的办法是补办一个新卡，但是对于无线电爱好者来说，开动脑筋，自己动手，重新给卡片制作一个外置天线，使旧卡获得新生，也是一件乐事。下面介绍维修方法。

非接触式IC卡内部结构大体如图1所示，我们以5线圈的天线为例，即使天线圈数不同，其原理还是相同的。真实的天线线圈是很细很密，总宽度约在1mm。图1所示的是放大很多的示意图，可以看到IC芯片在天线内部，相对而言天线损坏的比例是较高的。

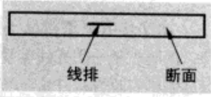


图2 卡片裂缝断面

用放大镜仔细观察卡片的断裂位置，会看到细细的一排铜线，约1mm宽，卡片的断面如图2所示。

用电烙铁将断裂处线排周围的PVC材料融化。当露出线排时，可以用镊子夹住并轻轻用力往外拽，同时用烙铁加热受力的PVC材料，就可以拽出一段很干净的线排，两端各露出约10mm。这个细细的线排是由多根更细的漆包线并排组成的。用镊子将每一根漆包线从线排中撕开，再将裸露的漆包线用打火机烧一下，去除包裹的漆皮，只烧一两秒就可以，如烧得太久铜线就会融化。然后用小刀慢慢将铜线外面刮干净，露出金黄色的铜丝，这样每一边露出5根清理干净的铜丝，卡片的处理状态如图3所示。

用万用表电阻挡测量两边铜线的通断，两侧线头两两组合，当发现两根是导通的，单独放到一边排除掉。这样总共会排除掉4组导通的铜线。两边剩下的那一对就是我们需要的。一般来说应该是一端最外侧和一端最内侧那两根，命名为A和B，见图4。如果卡片断成两半，或者碎成好几块，能找到AB线头那块卡片就是包含IC芯片的。其余卡片的5组铜线一定全是通路的，可以弃之不用。

找到和原来直径接近的漆包线（注意一定是漆包线，不能是铜线，为了避免线圈间的短路），长度是卡片周长的6倍左右。在卡片的四周贴上双面胶，断裂处不要贴，因为还要焊接，然后将新漆包线以断裂处为起点，留出1~2cm的焊接长度，以A线或B线的方向绕行，位置尽量接近原来的线排位置。绕4圈，加上卡内的AB线圈，正好是5圈 。绕回到断裂处时留出1~2cm的焊接长度。绕线排列是否整齐并不重要，绕成一束尽量接近原来的位置。绕好后再贴一层胶布固定，将线圈两端预留线头用刚才的方法处理干净。新绕线的两端定为C端和D端，见图5。然后将A、C线头焊在一起，B、D线头焊在一起。由于铜线很细，焊接前最好先将4个线头分别挂好焊锡，然后对应缠在一起，再用烙铁一点就可以。最后将断裂处和焊点用胶布固定好，注意两个焊点不要短路。在卡片外面整体缠上一层胶布保护好就可以了。整个过程需胆大心细，一次不行再来一次。理论上，只要卡片的IC芯片是好的，就可以通过绕制天线来修复。

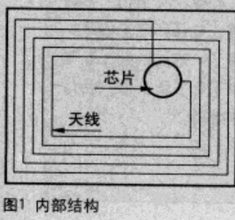


图1 内部结构

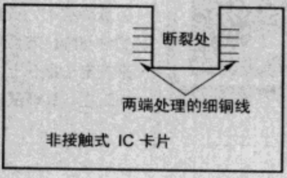


图3 排线的处理

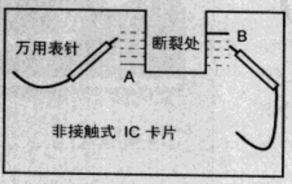


图4 找到A线和B线

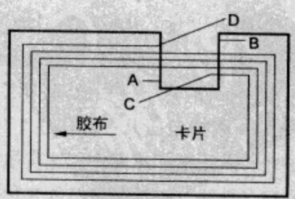


图5 贴上双面胶并绕线

巧换手机电池芯

◎刘福胜

手机电池年久老化只能购买新电池，可让人郁闷的是，个别款型的电池竟会让你踏破铁鞋无觅处，笔者的天语A699手机电池就是个案之一。

拿A699手机原配电池（见图1）外形与其他常见电池做比对，特殊之处是电池卡脚和供电触点整体凸出，令其与众不同、而难觅踪迹。惊诧原配电池之高价又青睐兼容电池的廉价，遂动起心思自己DIY吧。

手机电池无法互换受制于电池的体形和供电触点，这似乎并没有给我们留下可以操作的空间，但是，你只要听说电池内部电芯却都大同小异，你就会心迎曙光。手机电池电芯的确都是方方正正的，而且只有两个电极、即一正一负，输出电压均为3.6V或3.7V。在忽略内部材料和工艺的同时，也可以理解为电芯体积越大越厚，容量（mAH）也就越大，当然，成熟的制造工艺，在有效控制电芯体积的同时，又满足了大容量的电力储备，这就是热卖中的商务电池，小小的体积却有着1200mAH、甚至是更大的电流储备。我用的方法是：寻找到一款体形略小于本手机的电池（图2），容量不低于600mAH，取出电芯，并用其替换A699电池电芯。具体操作甚为简便，分别撕掉两块电池表面的贴纸或者塑料薄膜，露出电芯（图3），确定正负极性并做好标记后，用烙铁焊开旧电芯的两个电极，保留原电池中的窄条电路板，该电路板为手机提供电池ID（电池身份/编码），有的还承担充放电保护作用。对准极性装入新电芯，焊好正、负极引线。若新电芯与原电池外框存在空隙，可填充塑料薄片，再用透明胶带缠绕固定即可装入手机中。瞧着完美的创意（图4），你尽可夸下海口，制作手机电池不过如此。

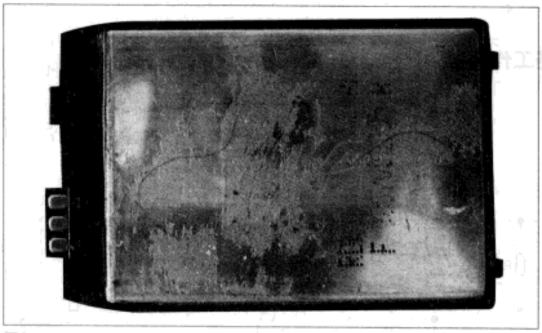


图1

图2

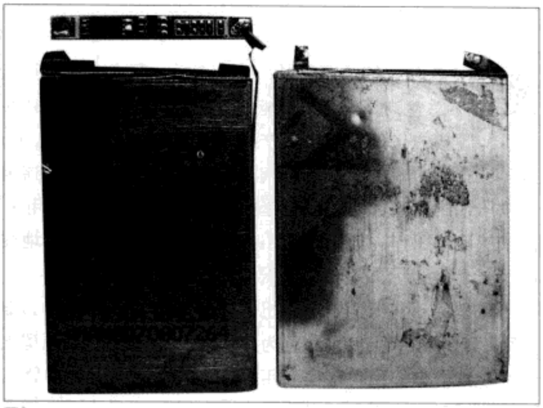


图3

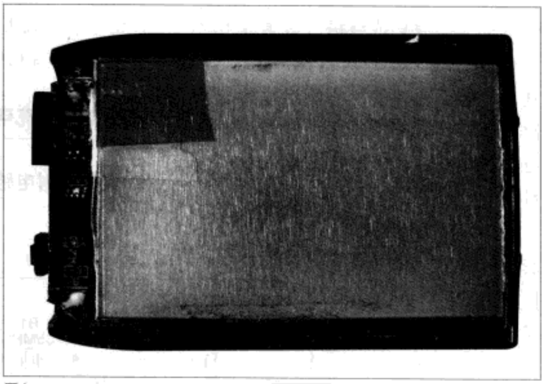


图4

自己动手检修微型无线遥控玩具汽车的小故障

◎韩军春

随着高新技术的快速发展，无线遥控玩具生产厂家为了节能，降低成本，顺应市场的需要，生产出品种繁多、小巧玲珑的遥控玩具汽车，深受孩子们的喜欢。这些微型遥控玩具汽车的电路工作原理是大同小异的，为了减小遥控玩具汽车的体积，一般采用微型驱动直流伺服电动机，内部电路板上焊接的元件大部分为小型贴片式，其中核心元件遥控专用集成电路TX-2/RX-2也是采用贴片式专用芯片。该芯片是一对专用于遥控车模的CMOS大规模集成电路。该集成电路具有5种控制功能，即前进、后退、加速、左转、右转等。它能组成具有五路红外遥控或无线电遥控等功能的独立控制电路，可对遥控玩具汽车、各种家用电器及照明灯等进行遥控。

TX-2／RX-2配套遥控集成块具有以下特点：（1）采用CMOS工艺制造，静态功耗小，外围元件少，电源电压适用范围宽(V_{CC}＝2.0～5.0V)，工作稳定可靠。（2）具有五路独立遥控开关控制功能。由于遥控发射集成电路可输出带载波的编码信号及不带载波的编码信号两种输出信号，所以它与相应的射频电路配合，不仅可实现五路独立的无线电遥控，而且还可方便地实现五路独立的红外遥控。(3)TX-2具有自动关机功能，既便于遥控发射器的设计，又可节能。(4)利用多片TX-2与多片RX-2并接，可方便地实现多路(5的倍乘数)遥控。

本人通过维修玩具遥控汽车，测绘出一款微型无线遥控玩具汽车的发射及充电电路工作原理图，并实测出该无线遥控玩具汽车发射及接收电路所用集成块TX-2/RX-2的各引脚电压及在路电阻，如表1、表2所示，下面简述其工作原理和检修方法。

遥控发射及充电电路工作原理

1. 遥控发射电路

该遥控发射电路主要以集成块IC1（TX-2BS）为核心及其他元件组成，其工作原理如图1所示。集成块IC1的3、11脚为电源供应端，其1、16脚为左右转弯控制信号输入端，4、5脚为前进和后退控制信号输入端，6脚为加速控制信号输入端，7、8、9脚为空端，10、12脚为编码信号控制输出端，13、14脚外接振荡电阻。三极管VT2及晶体B1等构成载波振荡器，其振荡频率为35MHz。

在接通电源后，操作遥控器中的功能键，其集成块IC1相应控制脚接地，内部对应的功能选通，开始进行编码产生与操作功能键相一致的编码信号，然后由其10脚输出控制编码脉冲信号，同时其12脚输出高电平控制信号，发射二极管LED亮，三极管VT2

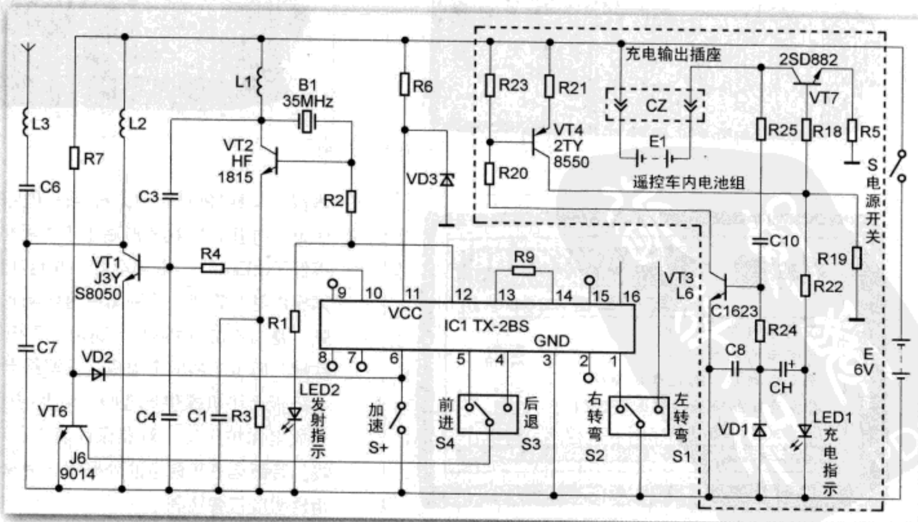


图1

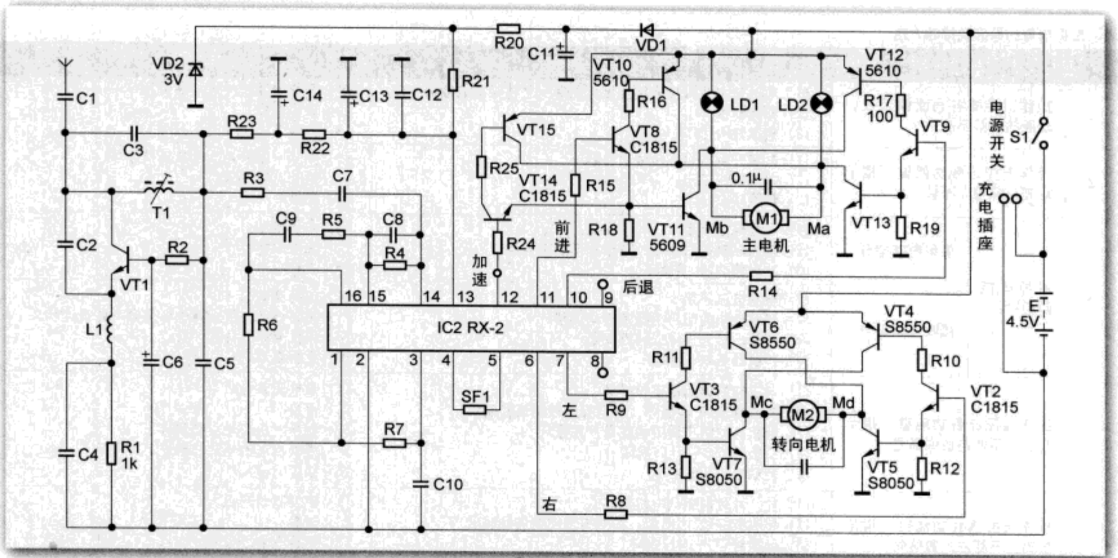


图2

表1 遥控发射电路主集成块IC1（TX-2 BS）各脚实测直流电压和在路电阻

引脚	代号	功能	直流电压(V)	在路电阻（kΩ）正笔测	负笔测
1	R	向右转弯控制端	4.2/0	5.0	13
2	TEST	测试端	4.2	5.0	13
3	GND	电源负极	0	0	0
4	B	后退控制端	4.2/0	5.0	13
5	F	前进控制端	4.2/0	5.0	13
6	T	加速控制端	4.2/0	5.5	13
7	空		0	5.5	11
8	空		0	∞	∞
9	SC	带载波编码信号输出	0	∞	∞
10	S0	不带载波编码信号输出	0	6.5	6.5
11	VDD	电源正极	4.8	4.5	4.5
12	PC	电源控制端	4.0/0	7.0	7.0
13	OSC	振荡器	4.8	6.0	12
14	OSC	振荡器	2.5	5.5	13
15	FOSC	测试端	0	5.5	13
16	L	向左转弯控制端	4.2/0	5.0	13

表2 遥控接收电路主集成块IC2（RX–2）各脚实测直流电压和在路电阻

脚号	代号	功能	直流电压(V)	在路电阻（kΩ）正笔测	负笔测
1	VO2	反相器2输出端	1.8	5.0	18
2	GND	接地端	0	0	0
3	SI	编码信号输入端	1.8	5.0	18
4	OSCI	振荡器	0.5	5.0	18
5	OSCO	振荡器	1.8	5.0	18
6	R	向右转弯输出端	0/1.8	5.0	6.5
7	L	向左转弯输出端	0/1.8	5.0	6.5
8	RDB	空脚	0	5.0	9.5
9	LDB	空脚	1.5	5.0	20
10	B	后退输出端	0/1.8	5.0	6.5
11	F	前进输出端	0/1.8	5.0	6.5
12	T	加速输出端（空脚）	0/1.8	5.0	14
13	VDD	接电源正极	3.4	4.0	11
14	VI1	反相器1输入端	0.2	5.0	16
15	VO1	反相器1输出端	0.2	5.0	16
16	VI2	反相器2输入端	0.2	5.0	20

的B极有高电平信号而导通工作，三极管VT2与晶体振荡器B1组成的载波振荡器工作，产生35MHz的振荡载波频率，经电容C3耦合到三极管VT1的B极。当集成块IC1（TX-2BS）的10脚输出高电平控制编码脉冲信号时，三极管VT1导通工作，其功能控制编码脉冲信号及三极管VT2及晶体振荡器B1产生的35MHz载波经三极管VT1调制放大后，经电容C6、电感L3耦合发射出去。

2. 遥控车充电电路

由于微型无线遥控车其自身较小，没有空间安装5号电池，生产厂家就采用三节纽扣电池串联使用。当遥控车没有电时，就把遥控手柄中的插头插入遥控车的插座充电即可使用，其充电电路工作原理见图1中虚线部分。

当微型车无电，把遥控手柄中的插头插入遥控车后，遥控器内的+6V电压通过连接插座进入到遥控车充电电路，该电压加到三极管VT7的C极，同时还通过电阻R21，电阻R23加到三极管VT4的B极和E极；通过电阻R20、电阻R25、电容C10加到三极管VT3的B极和C极。由于电容C10两端电压瞬间不能突变，就给三极管VT3的B极提供一定的偏置导通电压，三极管VT3导通，其C极电位降低，三极管VT4的B极电位降低而导通，+6V电压经过三极管VT4的E、C极，电阻R18加到三极管VT7的B极，三极管VT7导通，开始给遥控车内电池组充电；同时，该电压经电阻

表3 常见故障的原因及排除方法

	故障现象		主要原因	排除方法
1	操作遥控器各功能键无效，功能指示灯不亮		(1) 电池无电或其接触簧片氧化变形、生锈等造成接触不良 (2) 晶体B1损坏 (3) 集成块IC1损坏	(1) 更换电池或检查接触簧片 (2) 更换晶体 (3) 更换IC1
2	操作遥控器各功能键，指示灯亮。遥控车不转		(1) 电源开关接触不良或引线断 (2) 电池电压不足 (3) 集成块IC损坏	(1) 更换电源开关，检查其引线 (2) 进行充电后试之 (3) 更换IC
3	遥控器控制距离近	发射电路部分	(1) 电池电压不足 (2) 本振晶体特性变差，造成振荡频率偏移 (3) 发射集成块 IC损坏	(1) 更换电池 (2) 更换晶体 (3) 更换IC
		接收电路部分	(1) 电池电压不足 (2) 接收电路的超再生振荡频率偏移 (3) 高频三极管损坏或特性变差 (4) 接收集成块 IC损坏	(1) 进行充电 (2) 重新调试，使超再生振荡频率为最佳状态 (3) 更换高频三极管 (4) 更换集成块IC
4	操作遥控器各功能键，指示灯亮，不能前进或后退		(1) 前进或后退驱动电机损坏 (2) 接收集成块 IC损坏，其引脚无控制信号输出 (3) 电机齿轮组打滑或齿轮牙严重损坏 (4) 三极管VT8～VT13损坏 (5) 驱动电机引线中断	(1) 更换驱动电机 (2) 更换IC (3) 更换电机齿轮可重新校正 (4) 更换相应的驱动三极管 (5) 检查重接
5	操作遥控器各功能键，指示灯亮，不能左、右转向		(1) 左、右转向驱动电机损坏 (2) 接收集成块 IC损坏，其引脚无控制信号输出 (3) 三极管VT2～VT7损坏 (4) 驱动电机引线中断	(1) 更换驱动电机 (2) 更换IC (3) 更换驱动三极管 (4) 检查重接
6	齿轮打滑	前进或后退齿轮打滑	(1) 驱动电机齿轮打滑或齿轮牙严重变形 (2) 传动齿轮断齿	(1) 更换电机齿轮 (2) 更换传动齿
		左右转向齿轮打滑	(1) 转向电机齿轮打滑或齿轮牙严重损坏 (2) 齿轮箱牙箱盖固定螺丝松	(1) 更换转向电机齿轮 (2) 更换直径稍大或更长的螺丝锁紧
7	行驶速度慢	前进或后退速度慢	(1) 驱动电机带负载能力差 (2) 三极管VT8～VT13损坏，VT8～VT13驱动三极管饱和压降变大	(1) 更换驱动电机 (2) 更换相应的驱动三极管
		左右转向速度慢	(1) 驱动电机带负载能力差 (2) 三极管VT2～VT7的饱和压降变大	(1) 更换驱动电机 (2) 更换相应的转向驱动三极管
8	不能充电、指示灯LED1不亮		(1) 充电插头或插座接触不良，连接线断等 (2) 电池组损坏 (3) 发射电路三极管VT3、VT4、VT7损坏	(1) 检查修复重接 (2) 更换电池组 (3) 更换三极管
9	发光二极管不亮	发射指示灯不亮LED2	(1) 发射指示灯LED2损坏 (2) 电阻R1开路 (3) 发射集成块 IC1损坏，其12脚无高电平输出	(1) 更换 (2) 检查更换 (3) 更换集成块IC1损坏
		充电指示灯不亮LED1	(1) 充电指示灯LED1损坏 (2) 电阻R22开路 (3) 三极管VT3、VT4损坏	(1) 更换 (2) 检查更换 (3) 更换三极管

说明：以上数据均用MF386型万用表所测。电压用10V挡测、电阻用1kΩ挡测。遥控发射电路总电压为6.0V、遥控接收电路总电压为4.0V。

R22给电容CH充电，充电指示灯LED1亮。在电容CH充电时，又给三极管VT3的B极提供了一定的偏压，从而加速了三极管VT3、VT4、VT7的导通，随后电容的充电电流越来越小，三极管VT3、VT4、VT7相应进入截止状态，充电指示灯LED1灭，表明给遥控车内电池组充电结束。

遥控接收电路工作原理

该遥控接收电路主要以集成块IC2（RX-2）为核心及其他元件组成，其工作原理见图2所示。

当操作遥控器上的各功能键时，所发出的高频信号经遥控车上的天线接收后，由超再生接收电路解调出编码控制脉冲信号，再经电阻R3、电容C7耦合，送到接收集成块IC2的14脚，经其内部放大处理后，从其相应控制端输出控制信号，送到电机驱动控制电路。电动机驱动电路都是采用双端平衡方式，改变其两端工作电压极性，就可控制电动机转动方向。当输出的是前进信号时，集成块IC2的11脚输出高电平控制信号，三极管VT8、VT10、VT11随之导通，电动机M1正转，遥控车前进。当输出后退，左右转向控制信号时，用户可自已分析电路原理。

常见故障与检修

本文列举的都是消费者自己能动手检修的小故障，如表3所示。

电动车无刷电机控制器 基本原理及维修要点

◎贲礼进

电动车采用的电机分有刷电机和无刷电机两种，由于无刷电机具有噪声低、寿命长的特点，因而在电动车中获得比较广泛应用。无刷电机的控制器要比有刷电机控制器复杂得多，在维修上有一定的难度，因此，本文从无刷控制器的原理入手介绍维修要点，以期对广大维修爱好者有所帮助。

基本原理

电动车无刷控制器主要由单片机主控电路、功率管前级驱动电路、电子换向器、霍尔信号检测电路、转把信号电路、欠压检测电路、限流/过流检测电路、刹车信号电路、限速电路、电源电路等部分组成，其原理框图如图1所示，下面介绍主要电路的工作原理。

1. 电子换向器

无刷电机与有刷电机的根本区别就在于无刷电机用电子换向器代替了有刷电机的机械换向器，因而控制方法也就大不相同，复杂程度明显提高。在无刷电机控制器中，用6个功率MOSFET管组成电子换向器，其结构如图2所示。图中MOSFET管VT1、VT4构成无刷电机A相绕组的桥臂，VT3、VT6构成无刷电机B相绕组的桥臂，VT5、VT2构成无刷电机C相绕组的桥臂，在任何情况，同一桥臂的上下两管不能同时导通，否则要烧坏管子。

6只功率MOSFET管按一定要求顺次导通，就可实现无刷电机A、B、C三相绕组的轮流通电，完成换相要求，电机正常运转。

在电动车无刷电机控制器中，这6只功率管有二二通电方式和三三通电方式的运用，二二通电方式即每一瞬间有两只功率管同时通电，三三通电方式即每一瞬间有三只功率管同时通电。对于二二通电方式，功率管须按VT1、VT2，VT2、VT3，VT3、VT4，VT4、VT5，VT5、VT6，VT6、VT1，VT1、VT2……的通电顺序，电机才能正常运转。对于三三通电方式，功率管须按VT1、VT2、VT3，VT2、VT3、VT4，VT3、VT4、VT5，VT4、VT5、VT6，VT5、VT6、VT1，VT6、VT1、VT2，VT1、VT2 、VT3……的次序通电，电机才能正常运转。

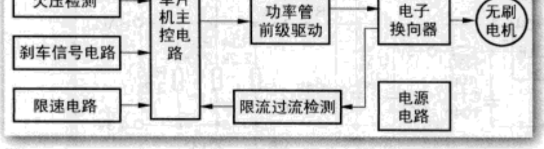


图1

2. 功率管前级驱动电路

功率管前级驱动电路用来驱动电子换向器的6个MOSFET管，由于6个MOSFET管组成了3个相同的桥臂，对这3个相同的桥臂

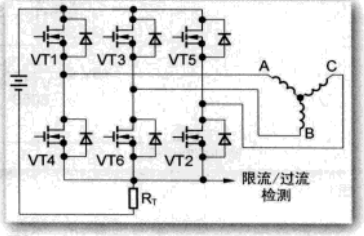


图2

的驱动电路是相同的，因而功率管前级驱动电路是由3组相同结构的电路组成，图3所示的是一典型的功率管前级驱动电路，对于一无刷控制器，有3个这样的电路，分别驱动3个桥臂。

3. 单片机主控电路

单片机主控电路是无刷电机控制器的核心部分，电机的霍尔信号、转把信号、过流检测信号、刹车信号等都直接输入给单片机，由单片机进行处理，并由单片机输出电子换向器三个桥臂的前级驱动信号，以控制电机的运转，因而单片机主控电路是无刷电机控制器的心脏部分。

单片机PIC16F72是目前电动车无刷电机控制器的主流控制芯片，图4所示的是用PIC16F72构成的无刷控制器的典型应用电路，它包括了无刷电机控制器的各主要输入、输出信号，如图4中的SPSIG端信号，该信号经过电阻R69和R68组成的网络送入单片机的第5脚，单片机根据该脚的电压信号变化，决定输出驱动信号的脉宽，从而决定电机的转速。目前市面上电动车的转把输出信号电压一般在1~4.2V，

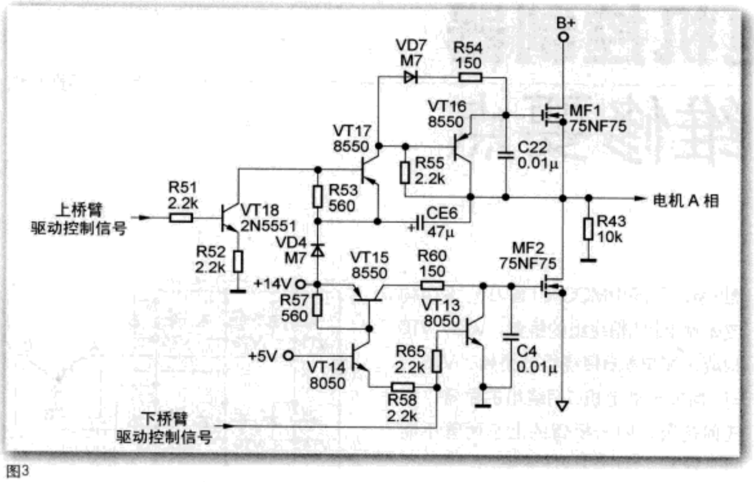


图3

在图4中，电阻R31~R36、电容C16~C18组成霍尔信号检测输入电路，电阻R34~R36形成上拉电位，电容C16~C18起滤波作用，抑制干扰信号。单片机的15、16、17脚分别检测来自电机内的三路霍尔位置信号，以决定换相时刻。

6. 欠压检测电路

在图4中，元件R70、R71、R72、C23组成电池电压检测电路，检测值送入单片机的3脚，当该脚检测值低于某一数值时，可强迫无刷电机控制器不工作，从而起到保护电池的作用。

它内部是由一个线性霍尔元件和一个磁体组成，转动转把、磁体移动，霍尔元件感应变化的磁场而输出变化的电压。

4. 限速电路

限速电路是通过分压电阻，减小送入单片机的转把最高电压信号，从而限制了速度。如图4中把SPLIMT端接地，则R67与R68即组成分压电路，降低转把信号（SPSIG）送入单片机的5脚的电压，从而限制了电动车的最高转速。

5. 霍尔信号检测电路

7. 刹车信号电路

对于电动自行车，当手把刹车时，单片机得到刹车信号，无刷电机控制器停止输出控制信号，电机断电，这称为刹车断电，对于有些无刷控制器，当单片机得到刹车信号时，则输出控制信号，强制电机抱住，使

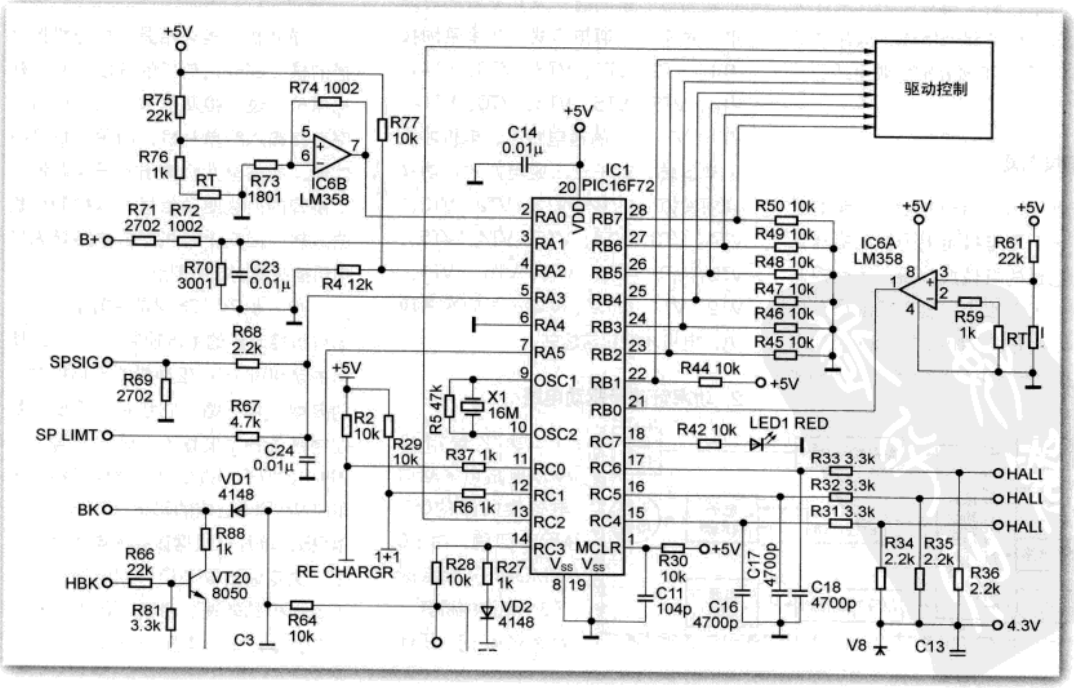


图4

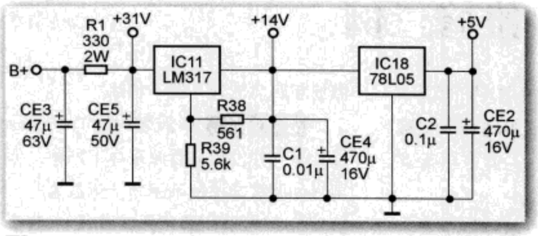


图5

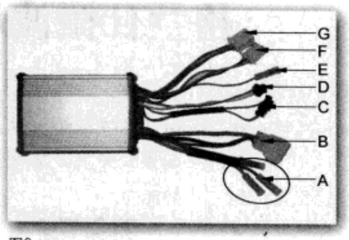


图6

电机不能转动，这称为电刹车。

目前市面上电动车的刹车信号有高电平刹车信号和低电平刹车信号两种，对于单片机一般只识别其中一种信号，如果采用电平转换电路，则可识别两种电平的刹车信号。在图4中，当BK信号端为低电平，则单片机第7脚得到低电平刹车信号，通知无刷控制器完成刹车过程。当HBK端为高电平时，通过电阻R66、R81、R88及三极管VT20完成电平转换，三极管VT20的集电极变为低电平，单片机第7脚为低，通知无刷控制器完成刹车动作。

8. 电源电路

在无刷电机控制器中，一般需两组电源，一个是14V电源供功率MOSFET驱动用，另一个是5V电源，供单片机、电机霍尔、转把霍尔等电路用。14V电源一般由LM317调整管得到，5V电源一般由78L05得到，电路程式如图5所示。

9. 限流/过流保护电路

限流保护是控制无刷电机控制器在某一最大限定电流值下工作，对于36V控制器，限流值一般在14±1A，对于48V控制器限流值一般在17±1A。限流保护其实又是过载保护，当上坡、载重必然引起负载加重、电流增大，但电流增大的极限就是限流值。

如图4中，IC6B（LM358）的运放与电阻R73、R74、R75、R76及R_T构成限流信号检测电路。R_T为串接于MOSFET管上的电阻丝，如图2所示，因为电机电流通过MOSFET管，也就流过R_T，当流过电机的电流变化，反应在R_T上就是R_T两端电压的变化。当流过R_T的电流大到限定电流时，此时IC6的第7脚输出约3V的电压，单片机PIC16F72的2脚得到3V电压时，则降低MOSFET驱动输出信号的占空比，迫使流过电机的电流下降，即R_T上的电流下降，同时R_T上的电压下降，使得IC6的第7脚输出下降，如此动态调节，保证无刷电机控制器工作于限流值以下。

过流保护是当电机电流达到限定电流时，无刷电机控制器电流仍在上升，则强迫停止电机供电。IC6A的运放和R59、R61、R62及R_T构成过流保护检测电路，见图4。检测信号由IC6的1脚输出，送入单片机的21脚。

维修要点

根据笔者在实际工作中的经验，要修好无刷控制器，可按如下步骤进行，将会收到事半功倍的效果。

第一步 正确判断无刷电机控制器的各引出线功能

无刷电机控制器一般具备如下引出线。

1. 电机线（图6中A线）

无刷电机控制器电机线有3根，称为A、B、C相线，一般黄线为A相，蓝线为B相，绿线为C相，但也有例外，这就要求维修者试着调换3根线的次序，直到电机运转正常。

2. 电源线（图6中B线）

无刷电机控制器电源线一般用3根线，其中一根细一些的线为锁线，它是给无刷电机控制器14V及5V电源供电的，另外两根粗线（红、黑）给功率管供电。

3. 限速线(图6中C线)

国家标准规定电动车的最高限速为20km/h，因此各无刷电机控制器厂家生产的控制器出厂时都留有如图6中的C号线，当插头插上，则电动车限速为20km/h，符合国家标准，如断开，则电动车速度将大于20km/h，方便用户选择。

4. 刹车线（图6中D线）

刹车线连接到电动车的把手开关上，当刹车时开关动作，刹车信号送入单片机，执行刹车断电或刹车抱死动作。

5. 速度线（图6中E线）

速度线与电动车仪表盘中的速度表相连，在无刷电机控制器内它通过一限流电阻与电机的某一根相线相连。电机速度变化，反应在电机相线中电流变化，则在速度线中电流也变化，反应在仪表盘中就是速度的变化。

6. 转把线（图6中F线）

转把线连接到电动车转把内的霍尔上，转把线有3根线，分别为电源正、电源负和信号线，一般红线为电源正，黑线为电源负，信号线为蓝色。当转把转动时，转把内磁铁相对霍尔运动，产生由低到高的感应电压信号，该信号送入单片机，执行调速指令。

7. 电机霍尔线（图6中G线）

电机霍尔线与电机内霍尔相连，以决定电机换相时刻。霍尔线有5根线：红为正，黑为负，其余3根线为3个霍尔信号，这3根线与电机相连，

格兰仕微波炉维修三例

◎陈清友

例1：格兰仕（机械型）WP700W微波炉接通电源后散热风扇与托盘转动正常，但是不加热。

故障排除：检查磁控管正常，但磁控管发射天线孔因为打火已从原来的三角形被烧成不规则形状。市场上现无相同形状产品出售，考虑到有的微波磁控管发射天线孔就是圆形的，试用一个五号充电电池外壳的一半（好像是不锈钢的吧，看着与天线管材料差不多，大小正好能套上），将其底部钻一个8mm圆孔（与其三角形外沿相吻合），去掉毛刺，将其套在原发射孔上。通电试验，维修成功。

例2：格兰仕（机械型）WP700W微波炉连续数次加工食品后有严重难闻煳味外出（烤鸡腿），后来再无加热能力。

故障排除：查微波磁控管正常，但发现炉腔内微波输出窗口周围好大一片烧黑，绝缘片一部分严重发黑。试将炉腔内烧黑部分用砂布打磨处理，用酒精将周围擦拭干净，然后用汽车白色（近似原炉色即可）自喷漆喷了3遍，待漆干后（约20分钟后），同时将绝缘云母片换新。通电试验，维修成功。

例3：格兰仕（机械型）WP750W微波炉转盘能转，但不加热。

故障排除：微波发射窗口绝缘云母片有几处发黑，看起来并不严重，但用汽油擦拭却擦拭不干净，测量高压二极管反向电阻，阻值为无穷大。测量微波磁控管对地电阻（用RX10），阻值为无穷大（正常），试换新绝缘云母片，通电试验，维修成功。

维修小结：长时间使用的微波炉，炉腔内会积累很多油污灰尘，这样会导致微波穿透能力大大下降。日常维修遇到这种情况，不妨先将云母片换掉，必定事半功倍。

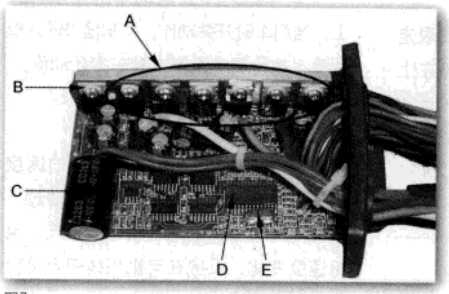


图7

附表

序号	故障现象	产生故障的原因
1	电机不转	(i)1 (j) 不通电 (i)2 (j) 14V、5V电源电压不正常 (i)3 (j) 转把坏 (i)4 (j) 单片机振荡器坏
2	电机运转不畅	(i)1 (j) MOS管坏 (i)2 (j) 电机A、B、C相线次序不对 (i)3 (j) 电机霍尔信号线次序不对 (i)4 (j) 驱动电路有问题
3	电机反转	电机霍尔线或相线次序不对
4	电机运转无力	限流电路异常

必须次序正确，否则电机不能正常运转，有时需反复调换这3根线与电机相连次序，直到电机运转正常。

第二步 目视检查

打开无刷电机控制器，如图7所示，目视检查有无不良，重点检查各导线是否焊接良好，功率MOS管、14V稳压管、大电解电容、单片机、振荡器是否焊接良好，如图7中A、B、C、D、E标注的所示，要排除不良点。

第三步 在不通电情况下用万用表检查

1. 先用万用表量外接电源端对地阻抗是否正常，一般应大于 2kΩ。

2. 分别测6个MOS管引脚间有无短路现象，此点较为重要，无刷电机控制器（如MOS管）较差，过流保护控制不佳或散热做得不好，往往会引起MOS管击穿，如图7中A部分。

3. 检查电源稳压管LM317引脚间有无短路现象。

4. 测78L05与地间阻抗是否正常，一般应大于1.5 kΩ。

第四步 在通电情况下测直流工作点

测LM317输出（应为14V）、78L05输出（应为5V）、转把线霍尔线、助力线、红线与黑线间电源（应为5V）。

第五步 尝试通电运转

1. 只连接电机线、霍尔线、转把线，保证正确连接后通电试着转动转把，先慢慢转动一小段位置（低速），看电机运转状态是否正常，如不正常，立即停机，重新检查。只有电机低速正常，方可逐渐提高速度，否则易损坏器件。

2. 在电机运转正常情况下，检查刹车、助力、速度表、欠压、限流等功能是否正常。

第六步 故障排除

有时故障现象是多方面因素造成的，因此，我们要善于透过现象看本质，逐一排除故障点，最后问题便迎刃而解，附表是故障现象与原因的几点总结。

总之，在初步掌握无刷控制器基本原理的基础上，按照以上所介绍的几点步骤维修，将会收到事半功倍的效果。本文旨在抛砖引玉，许多维修技巧还要靠不断实践才能融会贯通。

动手修修小家电

◎段丽红　张兰家

自己动手修电动车充电器

电动车的充电器总是难免出现一些故障，虽然换个新的也就是百拾元钱，但是对有一定基础的电子爱好者来讲，闲暇之余自己动手修理一下，未尝不是一件乐事。前一段时间，我的电动车的充电器出现了故障，利用周末时间我忙活了半天，修好了充电器，既省了钱，又锻炼了动手的能力，可谓是一箭双雕。

一次，充电器在充电过程中突然冒出浓烟并伴有刺鼻的气味，幸好及时发现，赶紧拔掉电源的插头。为不耽误使用，想买个新的，到门市一打听，价格倒是很便宜，不到50元，但仅从外表一看就知道不是正装，感到质量和安全性更是无法保证，打算花100多元买个厂家正装的，碰巧门市部又暂时无货，想来思去，为何不自己动手修一修。

打开充电器，正如预料的一样，+B的滤波电容50V/220μF已经爆裂，电解液外溢，电路板是一片狼藉，焊下损坏的电容器，用毛刷和酒精将电路板冲洗干净（这个步骤很重要，不能马虎，否则由于电解液的腐蚀作用会后患无穷），换上新的电容器，检查其他电路，没发现明显的问题，通电试验，同时用电表检测输出电压，输出电压高达70V，怎么会这么高呢？根据平日里的经验，这个36V的充电器空载时的输出电压为40V左右，心中正在犯嘀咕，随之冒出一股浓烟并发出“嗞嗞”的声响，刺鼻的电解液的味道弥漫四周，只听“啪”的一声，不好！马上断电，好险啊，刚换上的电容器又爆裂了。问题很清楚了，是输出电压过高引起的电容损坏。观察充电器电路，该电路是以常用的U3842为核心的电流调整型开关电源，配合LM358双运放来实现三阶段充电方式（恒流、恒压、涓流），用光电耦合器和精密基准电压源 TL431等完成的，电压过高一般是反馈调整环路出了毛病。根据此思路，重点检查和稳压有关联的元器件，以光电耦合器U3842和基准电压源 TL 431为核心，检查反馈控制环路。在这些元器件中，电阻可以静态测量，光电耦合器也可以用两个电表配合测量完成（实际上用代换法也很简单）。以上检查没发现异常，在U3842和TL431中，TL431损坏的可能性较大。花费不到5元钱就可以买来了U3842和TL431。换上新的电容50V/220μF，再换上TL431，谨慎试验，随时准备断电，等测其输出电压如期待的那样为正常的41V，才放下心来，OK！一个TL431就搞定了。进一步观察和测量，发现一切正常。仅花几元钱就修复了充电器，爽！

充电器的工作原理与一般的开关稳压电源大致相同，包括整流、滤波、开关振荡，稳压控制等部分。如果不是大面积的损坏，大部分的充电器还是有修理价值的，修理的费用不多，修复后质量也不打折，要比很多伪劣的产品好得多。即便又买个新的，修好的这个也可以放起来备用，保证电动车正常使用，所以，如果你是一名电子爱好者，可以自己动动手，体验一下成功的乐趣！

相关知识链接

精密基准电压源 TL431

TL431是一个有良好的热稳定性能的三端可调分流基准源。它的输出电压用两个电阻就可以任意地设置到从U_{ref}（2.5V）到36V范围内的任何值。其性能优良，质优价廉，广泛用于开关电源或精密线性稳压电源中，经常维修家电的人对此一定不陌生，TL431的电路图形符号和基本接线如图1所示。图1中，A为阳极，使用时需接地；K为阴极，需经限流电阻接正电源。U_{REF}是输出电压U_O的设定端，外接电阻分压器。TL431的外形图和等效电路如图2所示，主要包括①误差放大器，其同相输入端接从电阻分压器上得到的取样电压，反相端则接内部2.5V基准电压U_{ref}，也称为基准端；②内部2.5V基准电压源U_{ref}；③NPN型晶体管VT，它在电路中起到调节负载电流的作用；④保护二极管VD，它的作用是防止因K-A间电源极性接反而损坏芯片。

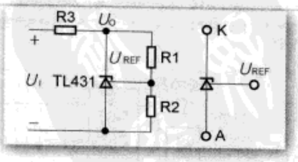


图1

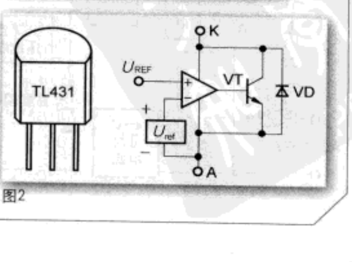


图2

防止紫砂饭煲紫砂胆易裂的有效方法

◎黄大立

佛山市顺德区简氏家用电器厂出品的依立牌（贵族型）紫砂饭煲，由于该饭煲的内胆采用紫砂制成，做出来的米饭特别香软，故受到广大消费者的欢迎。但由于其通电后锅内迅速升温，紫砂内胆很容易因热胀冷缩而破裂。我买回该品牌紫砂饭煲后使用不到一年就因紫砂内胆破裂而更换了3个内胆，这严重影响了消费者使用的信心。

原先以为是没有把紫砂内胆的水抹干净，所以，每次煮饭时都把新换回的内胆外壁抹干水才进行煮饭，但使用了一个多月后紫砂内胆仍然发生破裂。按使用说明书的要求，每次煮过饭后，必须用水浸泡，是不是内胆用水浸润的时间太长了，导致煮饭时紫砂内胆破裂，于是我减少了内胆的浸泡时间，但使用不到两个月，内胆仍然破裂。经过观察，我发现紫砂胆易裂的问题不在紫砂胆本身，是在加热的过程不合理。于是我作了预热实验。我把准备好煮饭的紫砂内胆先放在煤气炉慢火加热5分钟，然后再放回饭煲里煮。经过两个多月的试验，发现紫砂内胆未再破裂，但这样很麻烦，并且说明书上要求是切勿放在明火上加热，能否改用其他办法来预热吗？于是我再改用降低电压的办法来预热，预热后再恢复正常电压煮饭。具体做法是：用一台2kW的小型调压器作试验，采用预热的电压为170V，在这样的电压下预热5分钟。由于饭煲发热管在该电压下工作时产生的热量比在220V电压工作时产生的热量要少，温度升得慢，达到预热的效果。经过一年多的试验使用，紫砂内胆未见破裂，试验获得成功。这个实验说明：导致紫砂内胆破裂的真正原因是没有预热过程。原来的设计由于对紫砂内胆加热快，升温快，导致紫砂内胆内外受热不均匀，故容易破裂。

紫砂饭煲加热的原电路如图1所示，改进后的电路如图2所示。改进的地方有两处：(1) 变压器部分：变压器增加输出约170V的交流电压；(2) 预热时间设定：通过单片微电脑设置5分钟预热时间，利用继电器接合触点A使预热电路工作，5分钟后单片微电脑指令继电器接通B触点，进入正常工作状态。

紫砂饭煲因采用的材料健康环保，煮出来的饭松软可口，保温性好，只要克服加热过程中紫砂内胆易裂缺点，广大消费者必定会越来越喜欢这种煮饭炊具。

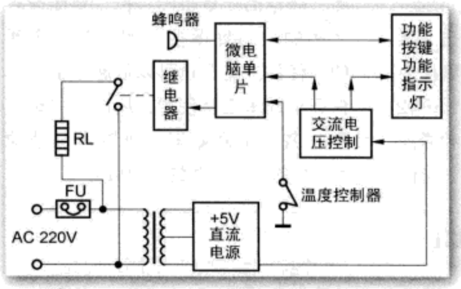


图1 原电路

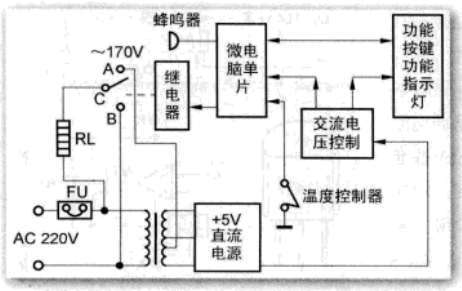
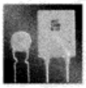


图2 改进后的电路

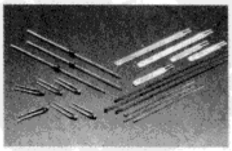
小知识

PTC热敏电阻与NTC热敏电阻

◎杨舟成



在家电中常见的热敏电阻有两种：一种是PTC（Positive Temperature Poefficient）热电阻，PTC是英文正温度系数的缩写，这种PTC电阻的阻值随着温度的升高而成比例增大，反之其阻值随温度降低成比例地减小。另一种是NTC（Negative Temperature Coefficient）的热电阻，NTC是英文负温度系数的缩写，这种NTC电阻的阻值随温度的升高而成比例地减小，反之其阻值随温度的降低成比例地增大。在电磁炉中，多数采用负温度系数（NTC）的热敏电阻作为温度检测传感器，而且多数选用在常温时的电阻值为100kΩ的热敏电阻。这就是很多电磁炉中，常常见到标有NTC符号的元件的缘故。



妙用ET521A示波表
检测行输出变压器

◎董灵江

在检测变压器的绕组线圈是否存在局部短路经常会采用振铃法，这就需要用一台信号发生器和一台示波器，这对于我们这些上门维修员来说有些不方便，而伊万ET521A示波表不但具有显示屏，而且还自带信号发生器，只要携带这样一台示波表就能实现两台仪器的功能了，下面以彩色电视机行输出变压器为例介绍一下使用该示波表检测变压器的方法。

脱机测行输出变压器的方法

用振铃法测行输出变压器时，首先将行输出变压器与电视机底板的连线断开或者拆下，然后在伊万ET521A示波表上调整出方波信号源，周期为400μs，示波器调整为“常规”测量，探头设为10:1（或者1:1），AC。

将ET521A自动示波表的方波信号输出端（测试线）与ET521A自动示波表的示波器测试探头同时连接行输出变压器线圈与行输出管集电极相连接的端点，两者的地线也同时接行输出变压器线圈的B+端。按示波器自动测试钮F1，即可看到清晰的振铃波形，如图1所示。

若变压器的线圈无短路故障，振铃的波形幅度衰减的幅度变化是比较慢的，一般在200μs内衰减不到零，若有短路故障，则振铃波形幅度较小、振荡频率变高，且幅度会很快衰减到零。与正常波形相比，即使有一两匝线圈短路，振铃波形的变化也是很明显的。

图2所示的是测试完好的长虹BSC－60T型彩电行输出变压器的7脚，10脚的振铃波形。图3所示的是在行输出变压器磁芯上有一两匝线圈短路时测出的振铃波形。

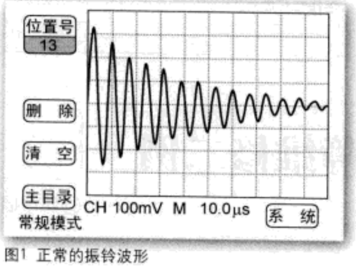


图1 正常的振铃波形

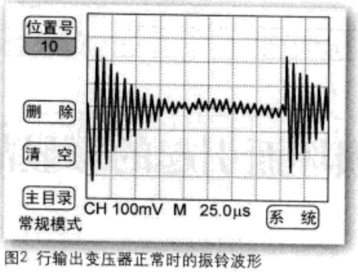


图2 行输出变压器正常时的振铃波形

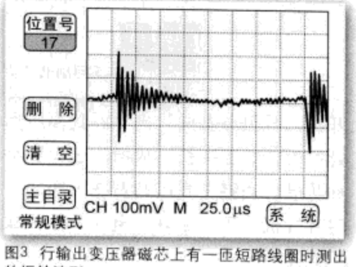


图3 行输出变压器磁芯上有一匝短路线圈时测出的振铃波形

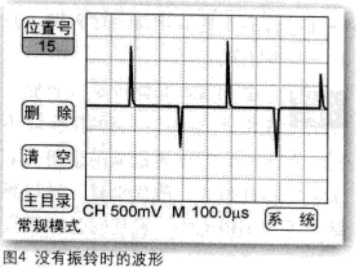


图4 没有振铃时的波形

按照ET521A示波表使用说明书上介绍的方法，在行输出变压器被测绕组端子加入400μs激励方波时，用示波器探头检测行输出管集电极，B+与绕组连接端，有时不会出现振铃信号，而只有脉冲信号，如图4所示。

这是因为当绕组的阻尼过大时，不会出现振铃现象。这时我们就要在行输出变压器的绕组中寻找行输出管绕组以外阻尼不太大的绕组，给它加入方波激励信号，直至找到能够出现振铃现象的绕组为止。通过这样的方法积累经验，利用仪器的存储功能找到的振铃信号，比较正常时与故障时的波形，为以后的修理提供可以借鉴的资料。

在线测试行输出变压器的方法

在线测试行输出变压器就是不将行输出变压器从电路板上取下来，只需把行输出管从电路板上取下来，然后将激励方波输出信号与示波器输入探头加至B+及行输出管集电极，由于行输出变压器的负载全部在线连接，所以振铃衰减要比脱机测试时大一些。这时行逆程电容和偏转线圈都并联在谐振回路上，若有变压器有匝间短路故障，振铃仅在一两个周期内就会衰减为零，周期也同时大大缩短。在线测试还可以区别是行输出变压器短路还是偏转线圈短路，这时只要把偏转线圈从插座上拔下，再来观察振铃波形的衰减情况就可以区别了。

实测关键点快速检修诺亚舟

◎韩军春

诺亚舟NH3180型电子字典非常实用，是人们生活、学习的好帮手。它具有功能强大（时间、计算、字典、资料、游戏、输入法、真人发声）、操作简便、携带方便等优点，深受人们的喜欢。为了快速检修故障，现对其关键点数据进行测量，并将常见故障及所对应的故障原因总结出来，供大家参考。

关键测量点		正常工作数据	故障现象	故障原因
整机电压		主副电池均为3V	不能显示、显示数字淡或耗电量大	1.电池电量不足 2.电容C21、C22漏电 3.二极管D10、D11损坏 4.集成块U1、U4损坏及其他元件有漏电、短路的现象
整机电流		主电池2.0mA，副电池1.5mA		
整机电阻		红笔接电池正极，黑笔接电池负极测为2.4kΩ，反之为5 kΩ	不能显示或显示数字淡	1.电阻值过低内部电路元件有短路、漏电的现象 2.电阻值过高内部电路元件有开路的现象
复位键(RESET)		两端电压：关机时为2V，开机时为2.8V 两端电阻：正向为5.5 kΩ，反向为80 kΩ	不能复位	1.该按键导电橡胶碳膜脱落导电不良 2.按键连接线中断 3.集成块U1、U4损坏等
开关机键		两端电压：关机时为2V，开机时为2.8V 两端电阻：正向为100 kΩ，反向为无穷大	不能开关机	1.该键导电橡胶碳膜脱落导电不良 2.按键连接线中断 3.集成块U1、U4损坏等
晶体振荡器	X1 圆柱形	对地电压：一脚为1.2V，另一脚为0.2V 两端电阻：正反向为100 kΩ（不稳定） 黑笔接电池负极，红笔测两脚为3.5 kΩ，反之为55 kΩ、有充放电现象	不能显示、时间不准或显示某一固定数	1.晶体振荡器损坏 2.晶体振荡器两脚所接两个电容漏电损坏 3.集成块U1损坏
	X2 A4.00	对地电压：一脚为3.2V，另一脚为0.6V 两端电阻：正反向为80 kΩ（不稳定） 黑笔接电池负极，红笔测两脚为3.5 kΩ，反之，一脚为80 kΩ、有充放电，另一脚为20 kΩ	不能显示或显示数字慢	1晶体振荡器A4．00损坏 2.晶体振荡器两脚所接两个电容漏电损坏 3.集成块U1损坏
扬声器		两端电阻：正反向为25Ω，SP-对地电阻：红表笔测2.4 kΩ，黑表笔测5 kΩ	没有键音、预定时间不响或不能真人发音	1.系统设置有误 2.扬声器、三极管Q0、集成块U1、U4损坏、电阻R15开路、R16、R24短路 3.电路板连接线中断等
注：以上各点数据均用MF386万用表所测				

因消磁电阻损坏而引起的彩显故障维修二例

◎郭学提

例1 联想LXB-HF769A型17英寸彩显的显示屏边缘出现暗红色和青色，且图像向内收缩。这是明显的显像管局部磁化的结果，打开机壳测消磁电阻PR901，发现其开路，该消磁电阻的型号为9RA300。由于手头没有同型号的消磁电阻。于是在废弃的旧彩显中找了个14RA300的消磁电阻，但是其体积比原消磁电阻大，遂用导线将其与电路板连接，并用塑胶将其固定在印制板空白处，示意图如附图，开机，故障排除。

例2 三星743DF S型17英寸彩显，开机无显示，电源指示灯不亮。据用户介绍出现故障前使用一切正常。打开机壳，测保险管，发现断路，再测消磁电阻，发现短路。更换同型号消磁电阻、换上新保险管后，

开机，听见“滋滋”声，看到高压帽处打火，马上关机，放掉高压电后用棉花蘸上酒精将高压帽清洗干净后，用吹风机吹干，装好，再次开机，故障解决。

自己动手检修抽油烟机

◎王绍华

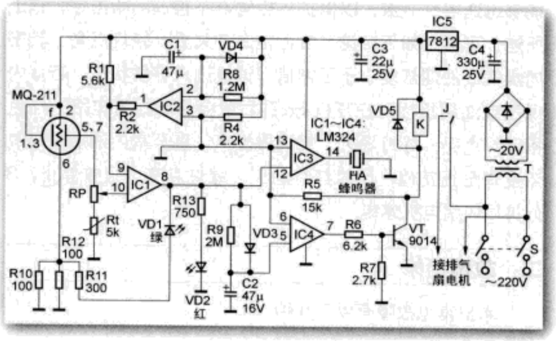
高宝KCA-228A自动抽油烟机具有煤气、油烟超标自动报警，自动启动和关停排气风扇的功能。该产品的拥有量比较大，当其出现问题时，作为电子爱好者总喜欢自己动手来检修。为了方便大家检修，本文从电路特点入手，介绍其检修方法。

一、电路特点

该抽油烟机控制部分的电路如附图所示。由图可以看出，该机电路主要由比较检测、蜂鸣报警、电机控制、延时及电源提供5部分组成。当闭合电源开关S时：220V交流电经变压器T降压，全桥整流，C4滤波后得到约20V直流电压，再经三端稳压IC5（LM7812）稳压成12V直流电压，供整机使用。为了防止刚开机时由于气敏接收头处于冷态而发生误报警，IC2与R8、C1等组成开机延时电路。当合上电源开关S后，IC2正相输入端（3脚）立刻获得8V电压，而反相输入端（2脚）由于外接有C1，电源要经R8对C1充电，所以2脚暂为低电平，要经2分钟左右才能达到8V以上。故在IC2的2脚未达到8V以上时，其1脚始终有高电平输出，此期间报警和排风电路均不工作。

IC1和气敏探头（MQ-211）构成烟气检测电路，气敏探头的3、5脚间采用的是对烟气体比较敏感的半导体材料，内部f为加热灯丝。在接通电源时，12V电源经灯丝、R12到地。所以灯丝发热，激活气敏半导体，在气敏接收头附近没有烟气时，气敏管的3、5脚之间呈高阻状态，故IC1正相（10脚）电压低于3.6V，而反相输入端（9脚）电压约为3.6V，所以输出端（8脚）为低电平。此时绿色发光二极管VD1点亮，表示气敏接收头附近的油烟、煤气浓度小于0.00015g/m³。IC5和蜂鸣器HA构成报警电路，由于IC1的8脚输出低电平，使IC3正相输入端12脚为低电平，而反相输入端13脚为高电平（8V），故IC3输出端（14脚）输出低电平，此时报警用的蜂鸣器HA不发声。

IC4和R6、R7、三极管VT、继电器J等构成电机控制电路。在烟气浓度未超标情况下，由于IC1的8脚输出低电平，致



使IC4正相输入端（5脚）为低电平，而反相输入端（6脚）为高电平，所以输出端（7脚）输出低电平，从而导致三极管VT截止、继电器不吸合、排风扇电机不运转，整机处于待命状态。

当煤气或油烟浓度超过上述浓度值时，气敏管的3、5脚间呈低阻状态。此电位经可调电阻RP、热敏电阻Rt的分压，使IC1正相输入端10脚电压超过3.6V。此时IC1翻转，其输出端8脚为高电平，绿色发光二极管VD1熄灭，红色发光二极管VD2点亮，指示油烟浓度超标。由于IC4反相输入端（6脚）只有8V，而正相输入端（5脚）此时电压已达到11V，故IC4翻转，其输出端（7脚）为高电平，三极管VT饱和导通，继电器线圈中有电流流过，致使常开触点闭合，排风扇电机得电，风扇旋转向室外排烟气。与此同时，IC1的8脚输出的12V（高电平）使IC3的12脚电平升至12V，大于反相输入端（13脚）8V电压，所以IC3也翻转，14脚输出高电平，蜂鸣器发出报警声。

R9、VD3与C2组成排气延时电路。当室内煤气或油烟浓度恢复正常后，气敏管的3、5脚间又恢复到高阻状态→IC1的10脚又回到低电平→IC1翻转→8脚输出低电平→VD3截止，绿色发光二极管重新点亮。此时C2已充至近12V，此电压只有通过R9放电。当放至IC4的5脚电压低于8V时，IC4重新翻转，VT截止。继电器触点释放，排风扇停止工作。与此同时，IC3的12脚也回落至低电平，故14脚输出低电平，蜂

附表 IC和VT正常工作电压

	LM324														9014		
引脚号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	e	b	c
待命状态(V)	0	/	8	12	0	8	0	0	3.6	<3.6	0	0	8	0	0	0	12
报警状态(V)	0	/	8	12	11	8	12	12	3.6	>3.6	0	12	8	12	0	0.7	1

鸣器停止发声。

顺便指出，VD4的作用是在电源关断后，使C1所储存电荷能迅速泄放，以保证再次开机时的间隔较短，即有足够的延时时间。VD5的作用是在继电器线圈断电瞬间产生的高压能够迅速得到泄放，以保护三极管VT不被过压所击穿。综上所述，可得到如下结论：合上电源开关后，绿灯点亮，若室内煤气或油烟浓度小于正常值，该机进入守候状态。若室内煤气或油烟超标，在开机2分钟后就会启动报警电路，红色指示灯点亮，绿灯熄灭，蜂鸣器发声，直至室内油烟或煤气浓度降至正常值。此时红灯熄灭，绿灯点亮，报警停止，3分钟后风扇电机停转。

二、故障检修

本机常见故障有以下几种：

1. 控制灵敏度下降甚至失效

该故障主要是气敏探头污染或气体通道堵死所致。该机气敏探头金属纱网包裹着一层滤纸，以防油烟污染内部的气体敏感元件。所以遇到灵敏度低时，应检查气敏管外面的滤纸是否严重污染，滤纸内部的纱网是否被灰尘污染堵塞。若是，可以用无水酒精清洗，并用电吹风吹干（不要让酒精渗入内部），没有滤纸可以用汗衫布代替。若完全失灵，在经更换滤纸和清洗沙网无效后，可在气敏探头的7脚管座的第3、5脚间接入一只几百欧电阻，看故障能否排除。若能启动，则说明气敏管内部气体敏感元件损坏，应更换。若无效，说明电路损坏，可查IC1的10脚电压是否大于3.6V，若小于3.6V，说明可变电阻RP（47kΩ）的触点开路或接触电阻过大，应予更换。若IC1的10脚电压大于3.6V而8脚不能输出高电平（红色发光二极管不能点亮）说明IC1损坏，必须更换四运放LM324。

2. 红色发光二极管点亮也有报警声但排风扇不运转

这通常是控制三极管VT（9014）开路或继电器触点氧化或烧蚀所致，更换即可。

3. 按下电源开关后机器立即工作

这显然是开机延时电路出现故障。通常是C1失效或严重漏电，更换C1可排除故障。顺便说明，VD3开路将会使电机启动时间大大延长。

4. 红灯熄灭后排风扇立即停转

这显然是停机延时电路出现故障。通常是C2失效或VD3击穿，应检查更换。为帮助大家检修，附表给出了IC1～IC4（LM324）及VT各引脚在待命和报警状态下的电压值。

笔记本电源适配器检修

◎闽溯　倪耀成

笔记本电脑的电源适配器很容易损坏，常见故障是无电压输出、输出电压不稳定以及内部有较响的“吱吱”噪声。最近为朋友修了两台笔记本电脑，全是电源适配器问题，现将修理情况归纳出来，供参考。

例1：一台笔记本电脑在使用中，因市电突然升高，导致电源适配器烧坏，而无电压输出。

检修：该笔记本电脑电源适配器采用的是开关电源，输入电压范围在100～240V，而超过240V的电压就有可能烧坏适配器。打开适配器外壳，经查发现保险丝管已熔断，压敏电阻也已有一引脚烧断。用万用表检测其电路，无短路现象。换上同规格保险丝管和压敏电阻，接上市电检测有正常而稳定输出电压。适配器恢复正常工作。

故障分析：压敏电阻与桥式整流二极管的输入端并联，其功能是在瞬间有高电压输入时通过自焚来保护电源部分的其他元件免遭高压危害。在市电220V电源电压正常的情况下，如果手头暂时没有相同规格的压敏电阻，应急使用可以暂时不安装该电阻。但一旦买到此压敏电阻后应及时安装，否则再次遇到高电压输入，轻则烧毁适配器中的许多元件，重则损坏笔记本电脑。在复原拆开的电源适配器外壳时，可以借助环氧树脂胶来粘合，如没有也可用电工胶带在适配器外壳缠绕几圈来处理。

例2：一台笔记本电脑，电源适配器工作时发出很大“吱吱”声。

检修：在正常情况下，电源适配器会发出微弱的工作噪声，但如果噪声大到令人心烦，那就是有故障了。因为电源适配器中只有当开关变压器，或电感线圈的磁环与线圈之间有较大间隙时才会出现“吱吱”声。拆开适配器外壳，在不通电的情况下用手轻轻拨动两个电感上的线圈部分，如果没有松动的感觉，可以确定是此噪声来自开关变压器。消除开关变压器的噪声可用下面3种方法：（1）用烙铁对开关变压器几个引脚的焊点进行补焊。补焊时，用手把开关变压器压向电路板，使其底部与电路板紧密接触。（2）在开关变压器的磁芯与线圈间塞入合适的塑料带或用环氧树脂胶封固，以防它们间松动而产生“吱吱”噪声。（3）在开关变压器与电路板之间垫入硬质纸片或塑料片，以防因空隙的振动而产生噪声。本电源适配器就是采用第二种方法来消除“吱吱”噪声的。

自己动手检修微波炉

◎韩军春　宋海红

希贵WD800-A型微波炉是广东顺德希贵电器有限公司制造的，它采用微电脑控制技术，具有语音提示操作及12种烹调加热方式，其操作方便、灵活，深受用户的青睐。该微波炉微波功率为800W，烧烤功率为1000W。由于在出厂时没有附带电路图，给维修工作带来一定的困难。为了方便以后检修，笔者根据实物测绘出了希贵WD800-A型微波炉整机电路原理图（见图1）、电脑控制板电路图（见图2）和面板操作显示电路（见图3）。供检修时参考。

一、工作原理

电脑板控制电路以微电脑控制集成块IC1（CPU）为核心，结合其周围的各元器件组成电源电压转换、微波控制、烧烤控制、炉门检测保护、语音/键音提示、显示与按键扫描等电路。

当电源接通，微波炉内部控制电路就开始工作，各操作键指示灯亮及显示屏数字闪烁发光，整机处于待命状态。在用户将需加热烹调食物放到玻璃转盘上，关上炉门并选择好加热烹调方式后，门控联动开关（上、中）及监测开关（下）的动臂接点接

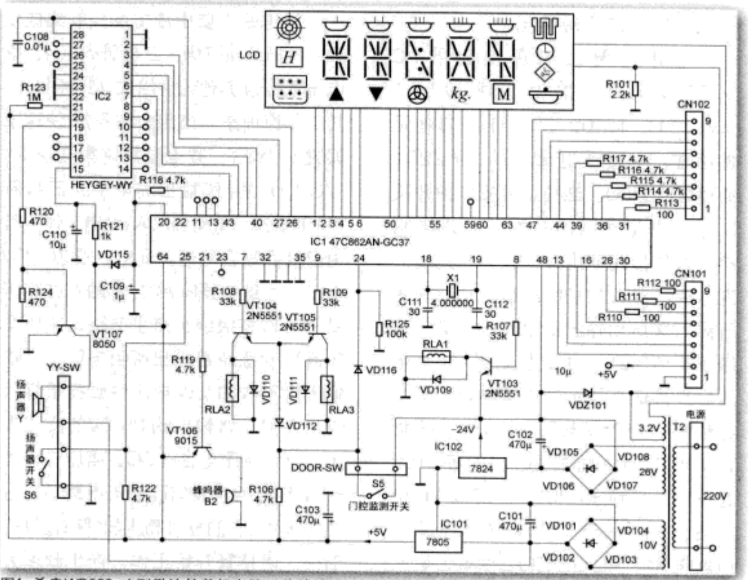


图1 希贵WD800-A型微波炉整机电路工作接线图

通。按开始/快速烹调键S216后，微波炉就按设置好的程序开始工作。微波炉内部微电脑集成块IC1的各控制脚输出高电平控制信号，使显示屏LCD显示当前工作状态、炉灯L发光，散热电机M1旋转，转盘电机M2转动。当烹调程序完成后，微电脑集成块IC1的各控制脚输出低电平控制信号，使磁控管、炉灯L、转盘电机M2和散热电机M1均停止工作，加热电路自动断开。同时扬声器发出烹调结束的语音提示。

在烹调期间，如果用户临时打开炉门，门控联动监测开关（下）的动臂接点断开，微电脑控制集成块IC1（CPU）的24脚立即变为高电平，其内部程序检测到该脚为高电平时，使其7、8、9脚迅速输出低电平，控制继电器RLA1-RLA3内触点断开，微波

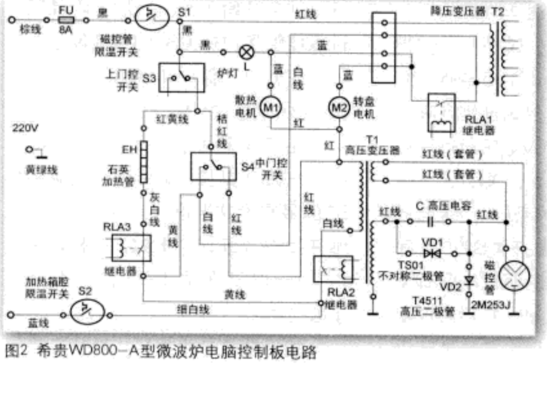


图2 希贵WD800-A型微波炉电脑控制板电路

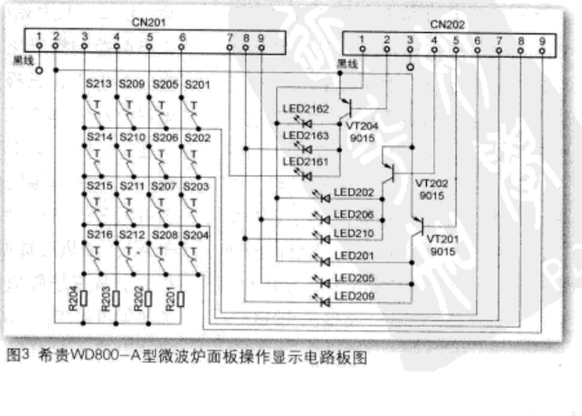


图3 希贵WD800-A型微波炉面板操作显示电路板图

炉便停止工作。同时，门控联动开关（上、中）的动臂接点也断开，从而达到双重保护的目的。

1. 电源电压转换电路

(1) 低电压转换电路

电路主要由电源变压器T2（TRN）、三端稳压块IC101（7805）、IC102（7824）及其他元件组成。在接通电源后，交流220V通过保险管FU、磁控管温度保护开关S1、加热腔体限温开关S2进入电脑控制板的接线插排线（红、白）端，送入变压器T2的初级绕组。然后由变压器T2降压后输出三组电压。第一组输出交流3.2V，由二极管VDZ101稳压后直接送入显示屏的供电端；第二组输出交流26V电压，由4个二极管VD105~VD108桥式整流，电容C102滤波，三端稳压块IC102（7824）稳压后，输出一个+24V直流电压给继电器RLA1、RLA2、RLA3供电；第三组输出交流10V电压，由4个二极管VD101~VD104桥式整流，电容C101滤波，三端稳压块IC101（7805）稳压，电容C103滤波后，输出一个+5V直流电压给微电脑控制集成块IC1（47C862AN-GC37）的64脚及其他支路供电，整个电路处于待命状态。

(2) 高电压转换电路

该电路主要由高压变压器T1、高压电容C（1.0μF/2100V）、高压二极管VD2等其他阻容元件组成（见图2）。在用户把待加热烹调食物放入炉腔内，关上炉门按开始键后，交流220V电压通过保险管FU、磁控管温度保护开关S1、上门控开关S3、中门控开关S4、高压变压器T1初级绕组、继电器RLA2、加热腔体限温开关S2产生回路。高压变压器T1次级绕组输出两组电压，一路输出约3.4V的交流电压供磁控管灯丝使用；另一路输出约1800V的交流电压，再经高压电容C、高压二极管VD1组成的半波倍压整流电路后，生成约3600V的直流高压加到磁控管的阳极，磁控管开始工作。

2. 微波烹调加热控制电路

该电路主要由微电脑控制集成块IC1（CPU）的7脚、三极管VT104、继电器RLA2及其他元件组成（见图1）。其工作原理是：当用户按开始/快速烹调键S216后，微电脑控制集成块IC1（CPU）的7脚输出高电平，三极管VT104导通，继电器RLA2得电工作，其内部触点吸合导通。此时，交流220V电压通过继电器RLA2内部触点在高压变压器T1初级绕组产生回路。高压变压器T1次级绕组输出两组电压，一路输出约3.4V的交流电压供磁控管灯丝使用。另一路输出约1800V的交流电压，再经高压电容H.V.C、高压二极管H.V.D组成的半波倍压整流电路后，生成3600V左右的直流高压加到磁控管的阳极，磁控管开始工作，产生频率为2450MHz的微波。该微波能量通过波导管送入炉腔内，由于微波在炉腔内来回反射穿透食物，从而达到对食物烹调、加热的目的。

3. 烧烤加热控制电路

该电路主要由微电脑控制集成块IC1（CPU）的9脚、三极管VT105、继电器RLA3、石英加热管EH及其他元件组成。其工作原理是：当用户选择烧烤功能后，按开始/快速烹调键S216，微电脑控制集成块IC1（CPU）的9脚输出高电平，三极管VT105导通，继电器RLA3得电工作，其内部触点吸合导通。此时，交流220V电压通过保险管FU、磁控管温度保护开关S1、上门控开关S3、石英加热管EH、继电器RLA3、加热腔体限温开关S2产生回路。安装在炉腔顶部的两根串联石英加热管EH得电开始发热，炉箱内温度迅速升高，这样就达到对食物进行烘烤加热的目的。

4. 炉门监测及保护电路

该电路主要由微电脑控制集成块IC1（CPU）的24脚、门联动监测开关S5（下）、门联动开关S3（上）、门联动开关S4（中）、磁控管温度保护开关S1、加热腔限温开关S2等其他元件组成。其工作原理是：为了用户的人身安全，微电脑控制集成块IC1（CPU）的24脚一直发出扫描脉冲信号，检测炉门联动开关S5是否处于闭合接通状态。如果炉门是关好的，则联动开关S5接点接通，集成块IC1（CPU）的24脚为低电平，这时才发出进行下一步工作的程序指令。如果炉门没有关好或在加热过程中打开炉门，则微电脑控制集成块IC1（CPU）的24脚为高电平，便发出控制指令，使其7、8、9脚输出变为低电平，三极管VT103~VT105截止，继电器RLA1、RLA2、RLA3停止工作，其内部触点断开，从而切断磁控管、炉灯L、转盘电机M2和散热电机M1的工作电源。

如果上门控开关S3内触点没有彻底分离，则220V通过保险管FU、磁控管温度开关S1、中门控开关S4内常闭接点、加热腔体限温开关S2产生回路。保险管FU（8A）迅速熔断。如果中门控开关S4内触点没有彻底分离或加热继电器RLA2内触点烧粘连，微波炉在关上门后，不按开始/启动键，就会开始工作。当炉腔内温度超过磁控管保护开关S1的最高设定温度（95℃）时，保护开关S1立即切断电源，整机停止工作。

由于某种原因使炉腔内温度升高，当超过安装在炉腔顶部限温开关S2的最高设定温度（120℃）时，限温开关S2立即切断电源，整机停止工作，从而有效的防止其他元件损坏及事故的发生。

如果散热电机损坏或散热不良，

则磁控管的温度会迅速升高，当超过安装在炉腔右侧磁控管旁边的保护开关S1的最高设定温度（95℃）时，保护开关S1立即切断电源，整机停止工作，从而有效的防止磁控管及其他元件的损坏。

5. 语音、键音提示电路

（1）键音提示电路

该电路主要由微处理器集成块IC1（CPU）的21脚和三极管VT106、蜂鸣器BZ等组成。当用户操作各功能键时，其按键开关便给微处理器集成块IC1（CPU）的各脚输入一个高电平信号，微处理器集成块IC1检测到该信号时，便从其21脚输出一个低电平控制信号，三极管VT106导通，蜂鸣器便发出“嘀”的一声确认音，显示屏也同时显示相应内容。

（2）语音提示电路

该电路主要由微处理器集成块IC1（CPU）的26、27、40~43脚、语音集成块IC2和三极管VT107和扬声器Y等组成。当用户接通电源后，微处理器集成块IC1（CPU）的26脚输出一个控制信号，提取语音集成块IC2内部储存与之相对应的语音信号，该语音信号从集成块IC2的19脚输出提示音，经三极管VT107放大后，从扬声器Y发出。如刚开机或操作（自动解冻、自动烹调、烧烤、微波、缓速、混合）等功能键后，扬声器Y便发出“您好，感谢您使用希贵牌电器，您选择的是自动解冻功能，请选择菜单并输入重量”等提示语，便于用户操作。当烹调结束后，扬声器Y中先发出3声“嘀”音（蜂鸣器也同时发出3声“嘀”音）后，再发出“烹调完毕，可以取出，请注意高温，谨防烫伤”的语音提示。

6. 显示与按键扫描电路

该电路主要由微处理器集成块IC1（CPU）的1~6、13~16、28~31、36~39、44~47、50~63脚和三极管VT201~VT204、面板按钮开关S201~S216、发光二极管LED201~LED210、LED2161~LED2163及显示屏等组成键控扫描显示电路。

微处理器IC1的44~47脚为IC的输入接口，用来接收各按键接通时输入的操作指令。其13~16脚为键控脉冲输出端，当微波炉功能键被按通时，由其13~16脚输出的键控扫描脉冲通过按键进入到微处理器IC1的44~47脚。微处理器IC1接收到高电平信号后，通过矩阵来判断那个按键被按下，之后微处理器IC1根据该键的设定功能，调出内部软件进行工作。同时微处理器集成块IC1（CPU）的1~6、13~16、28~31、50~63脚输出扫描控制信号驱动显示屏显示，从其36~39输出低电平使三极管VT201~VT204导通（图中省画VT203），将其28~31脚上所接相应的指示灯点亮并控制相应的电路工作。

此外微电脑控制集成块IC1的18、19脚、晶体振荡器X1和电容C111、C112组成时钟振荡电路，为单片机提供一个标准的时钟工作信号，微电脑控制集成块IC1的20脚、电容C109和二极管VD115组成复位电路。

二、各控制键功能介绍

S201为自动解冻键，共有4种状态。按此键1次为猪肉、2次为牛羊肉、3次为鸡、4次为鱼，根据用户选择。微处理器集成块IC1（CPU）的7脚输出不同间隔高低电平控制继电器RLA2、磁控管间隙工作。

S202为自动烹调键，共有12种状态。按此键1次为煮奶、2次为热面包、3次为清蒸鱼、4次为烤鸡、5次为煮饭、6次为热蔬菜、7次为烤牛羊肉、8次为烤肉、9次为家常汤、10次为煮粥、11次为串烧肉、12次为炒蔬菜，根据用户选择。微处理器集成块IC1（CPU）的7脚输出不同间隔高低电平控制继电器RLA2、磁控管间隙工作。

S203为 10分/kg键。用户选择自动解冻或自动烹调时，按此键1次为1kg、2次为2kg……依此类推，最多9次为9kg，用户选择烧烤或微波活力时，按此键1次为10分钟、2次为20分钟……依此类推，最多9次为90分钟。该键可单独使用或与S204为分/100kg键配合使用，食物最重为9.9kg，时间最长为99分钟。

S204为分/100kg键。用户选择自动解冻或自动烹调时，按此键1次为100kg、2次为200kg……依此类推，最多9次为900kg，用户选择烧烤或微波活力时，按此键1次为1分钟、2次为2分钟……依此类推，最多9次为9分钟。该键可单独使用或与S203为10分/kg键配合使用。

S205为烧烤键。按此键微处理器集成块IC1（CPU）的9脚输出高电平控制继电器RLA3、石英加热管工作。

S206为微波活力键。按此键可改变微波加热功率。在选择高功率时罒，微处理器集成块IC1（CPU）的7脚一直输出高电平，使继电器RLA2一直工作，在选择中高功率时山，微处理器集成块IC1（CPU）的7脚输出24秒钟高电平后，再输出8秒钟低电平，在选择中功率时凵，微处理器集成块IC1(CPU)的7脚输出18秒钟高电平后，再输出15秒钟低电平，在选择中低功率时凵，微处理器集成块IC1（CPU）的7脚输出12秒钟高电平后，再输出20秒钟低电平，在选择低功率时⏚，微处理器集成块IC1（CPU）的7脚输出6秒钟高电平后，再输出26秒钟低电平，控制继电器RLA2间隙工作。

S207为10秒键，共有5种状态。在选择好加热方式后，按此键微波炉对食物进行加热。按此键1次为10秒、2次为20秒、……、5次为50秒。

S208为定时保持键。如果用户设置好加热时间后再设置定时保持时间，

则微处理器集成块IC1（CPU）的7脚输出高电平的时间为两者时间之和。

S209为缓速烹调键。根据用户设置时间，微处理器集成块IC1（CPU）的7脚输出40秒高电平进行微波加热。

S210为混合烹调键。如果用户设置时间为1分钟，则微处理器集成块IC1（CPU）的7脚先输出30秒高电平进行微波加热，而后输出低电平，同时其9脚输出30秒高电平使石英管发热。

S211为时钟键、S213为增加键、S214为减少键。在初次接通电源后，用户按S211时钟键，再配合S213增加键、S 214减少键，来设置时钟时间。如果用户不拔掉电源插头，可作为钟表用。

S212为预置键。如果用户想使用预置加热功能，要先调节好时钟，而后按该键，再配合S 213增加键、S 214减少键，来设置预置加热时间。到预定加热烹调时间时，微处理器集成块IC1（CPU）的7脚自动输出高电平控制信号进行微波加热。

S 215为消除键。无论微波炉处于何种工作方式，均可通过该键取消所设置的一切功能。

S 216为开始/快速烹调键。在接通电源后，直接按该键或选择好烹调加热的工作方式及设置定时时间后，微波炉就自动进入烹调加热工作状态。如果直接按该键1次，微波炉只能烹调加热1分钟。在工作中，还可再按该键增加烹调时间，最长时间为99分钟。

三、检修步骤及方法

第1步，拆开其外壳后，应先观察电源保险丝管FU（8A）是否正常？若正常，直接进行下面的步骤检查，反之，根据保险丝管FU熔断轻重来判断故障。若保险丝管FU熔断较轻，可直接用同型号保险丝管换上试之。若保险丝管内壁发黑，说明其后级有严重短路的现象。此时可把高压变压器初级一端的接插件拔下后，再更换保险丝管FU试之，若保险丝管FU不再烧断，则说明是高压变压器T1及其后面元件损坏，反之，说明低压变压器T2损坏。

第2步，先对高压电容C（1μF）进行放电，然后再用表R×10kΩ挡测其正反向阻值，其阻值在充放电结束后为2kΩ以上正常。若其正、反阻值小或短路，就说明高压电容C或与其所并接的双向不对称二极管VD1（TS01）损坏。若把高压电容C两脚的接插件拔下后，再测其正反阻值相同，说明其已损坏。反之，说明双向不对称二极管VD1损坏，应急情况下，双向不对称二极管VD1可拆除不用。双向不对称二极管VD1为磁控管的保护管，用表R×10kΩ挡测其正反向阻值，正常时均为无穷大。其作用是：当高压电容C两端的电压因某种原因升高时，就会使双向不对称二极管VD1击穿，高压电容C的电荷通过双向不对称二极管VD1产生回路，迅速放电，从而保护磁控管。

第3步，检测高压二极管VD2（T4512）。用万用表R×10kΩ挡测高压二极管正向阻值在130kΩ左右，反向阻值为无穷大，说明其正常；反之，说明高压二极管损坏。

第4步，检测磁控管（2M253J）。磁控管的常规检查就是测灯丝电阻。先把磁控管灯丝两端接插件拔下，用万用表R×1挡测灯丝两脚，其阻值正常（接近0Ω）。两脚对其外壳均为无穷大；否则，说明其已损坏。

第5步，检测高压变压器T1。用万用表R×1挡测其初级绕组为1Ω左右，次级绕组为95Ω左右。如果阻值偏差很大，就说明高压变压器已损坏。

第6步，在进行上述检测后，若需要通电检查时，必须先把高压变压器的次级绕组断开或把电路板两个继电器RLA2、RLA3上的接插件全拔下，但要记清插件位置。拔下继电器RLA2、RLA3上的接插件，只是断开了通往高压变压器T1和石英加热管EH的供电端，但不会影响电脑控制板上整个电路的正常工作。如果不装上外壳，直接插上电源试机，磁控管所发射的微波将会对人体产生伤害。

四、常见故障检修

例1：该微波炉在接通电源后，其面板指示灯和显示屏无显示，操作各功能键无任何反映。

分析与检修：这种故障一般情况下，都是交流电压220V没有进入电脑控制板上或电源电路有问题所致，应检查电源保险丝管FU1（8A）是否正常，测电脑控制板上电源插线排（POWER）红白两线间有无220V交流电压，由此判断磁控管限温开关S1、加热腔体限温开关S2的损坏或引线接插件的接触不良等。经检查发现是加热腔体限温开关S2损坏所致，用同型号温控开关换上后，故障排除。

例2：该微波炉在接通电源后，其面板指示灯和显示屏无显示，操作各功能键无任何反映。

分析与检修：根据故障现象判断有可能是电源保险丝管烧断或接插件接触不良等。拆开其外壳，发现其电源保险丝管FU（8A）已严重烧毁，由此说明其后级电路有严重短路的现象。接着对高压变压器T1、高压电容C（1.0μF /2100V）、高压二极管VD2（T4511）等检查，发现双向不对称二极管VD1（TS01）已呈短路状态，而正常时其正反向电阻应为无穷大。在其他元件无异常的情况下，更换电源保险管和双向不对称二极管VD1后，微波炉加热正常，故障排除。

例3：该微波炉在接通电源，关上门后，还没有设置烹调功能和按启动/快速烹调键时，微波炉就开始“嗡嗡”响起来。

分析与检修：一般情况下，这种

故障都是控制磁控管的继电器RLA2内触点烧蚀粘连引起的。拆开微波炉的外壳，直接拔下电脑控制板上继电器RLA2两引线接插件，用表测继电器RLA2两簧片间呈短路状态（只有用户按启动/快速烹调键后，继电器RLA2得电工作，其内部触点才吸合导通，平时应为开路状态）。随后用同型号继电器焊上后，微波炉工作正常，故障排除。

例4：该微波炉在接通电源后，操作其面板上的各功能键后，其面板上显示正常，炉内指示灯亮，炉盘也旋转，但就是不加热。

分析与检修：这种故障的原因可能是高压变压器次级绕组匝间短路、磁控管损坏、高压整流二极管开路、高压电容漏电及接插件接触不良等。拆开外壳，先对高压电容C（1.0μF/2100V）进行放电，然后把磁控管的两脚插接端拔下，再把高压二极管VD2一端连到高压电容C的管脚上的接插件拔下，之后用表对磁控管、高压变压器T1的初、次级绕组、高压电容C、不对称二极管和高压整流二极管（T4511）进行检查，没有发现异常。为了安全，没有把上述各插接件恢复，接通电源进行检查，发现高压变压器T1的初级没有220V交流电压。接着测继电器RLA2接触簧片上的两引线插头有220V 交流电压，说明继电器RLA2触点没有导通，由此判断是继电器RLA2损坏或驱动电路有问题。随即把电脑控制板取下，用一个直流稳压电源单独给继电器RLA2供电，继电器RLA2有很响的“嗒嗒”吸合声，用表测其两接触簧片导通（正常）。接着检查继电器RLA2的控制三极管VT104（2N5551），发现其已损坏，随即用同型号管子换上，继电器RLA2工作正常。之后断开电源，把高压部分所拔下的各接插件恢复，装上外壳，通电后微波炉加热正常，故障排除。

表1　IC1（47C862AN–GC37）各脚实测直流电压和在路电阻

脚号	直流电压(V)		在路电阻(kΩ)		脚号	直流电压(V)		在路电阻(kΩ)	
	静态	直接按开始键S216	+测	–测		静态	直接按开始键S216	+测	–测
1	–18	–18	25	9	33	0	0	0	0
2	–19	–19	25	9	34	0	0	0	0
3	–19	–19	25	9	35	0	0	0	0
4	–19	–19	25	9	36	3.7	3.6	4.5	7.5
5	–19	–19	25	9	37	3.7	3.8	4.5	7.5
6	–19	–19	25	9	38	3.7	3.6	4.5	7.5
7	–23	4.9	25	8.5	39	3.7	3.6	4.5	7.5
8	–23	4.9	25	8.0	40	0	4.2	4.5	7.5
9	–23	–23	25	8.5	41	0	4.2	4.5	7.5
10	–23	–23	25	9	42	0	0	4.5	7.5
11	–23	–23	25	9	43	0	0	4.5	7.5
12	–23	–23	25	9	44	0	0	4.5	∞
13	4.8	4.8	4.5	9.5	45	0	0	4.5	∞
14	4.8	4.8	4.5	9.5	46	0	0	4.5	∞
15	4.8	4.8	4.5	9.5	47	0	0	4.5	∞
16	4.8	4.8	4.5	9.5	48	–24	–24	6.5	4.5
17	0	0	4.5	7.5	49	–17	–19	25	8.5
18	0.5	0.5	4.5	7.5	50	–17	–19	24	9
19	2.2	2.2	4.5	7.5	51	–23	–(13-18)	24	9
20	2.4	2.4	4.5	11	52	–23	–19	24	9
21	4.2	4.2	4.5	∞	53	–23	–23	24	9
22	2.4	2.4	4.5	16	54	–23	–(18~23)	24	9
23	0	0	4.5	7.5	55	–23	–(18~23)	24	9
24	0	0	4.5	7	56	–23	–(18~23)	24	9
25	4.8/0	4.8/0	4.5/0	9.5/0	57	–(1.8~3.6)	–(18~23)	24	9
26	4.2	4.2	4.5	11	58	–(1.8~3.6)	–(5~10)	24	9
27	0	0	4.5	11	59	–(1.8~3.6)	–(5~10)	24	9
28	0.1	0.1	4.5	∞	60	–(1.8~3.6)	–(5~10)	24	9
29	0.5	0.5	4.5	∞	61	–(1.8~3.6)	–(5~10)	24	9
30	0.3	0.3	4.5	∞	62	–(1.8~3.6)	–(5~10)	24	9
31	0.4	0.4	4.5	∞	63	–(1.8~3.6)	–(5~10)	24	9
32	0	0	0	0	64	5	5	3.0	4.5

表2　IC2（HEYGEY–WY）各脚实测直流电压和在路电阻

脚号	直流电压(V)		在路电阻(kΩ)		脚号	直流电压(V)		在路电阻(kΩ)	
	静态	直接按开始键	+测	–测		静态	直接按开始键	+测	–测
1	0	0	0	0	15	4.8	4.8	5.8	13
2	0	0	0	0	16	4.2	4.2	5.8	11
3	0	4.2	4.5	11	17	0	0	5.8	11
4	0	0	4.5	8	18	0	0	5.8	
5	0	0	4.5	8	19	0	0	0.8	0.8
6	0	4.2	4.5	8	20	5	5	3.1	4.5
7	0	4.2	4.5	8	21	0.8	0.8	5.8	2k
8	0	0	6.0	11	22	0	0	0	0
9	0	0	6.0	10	23	0	0	0	0
10	0	0	6.0	10	24	0	0	0	0
11	0	0	6.0	10	25	2.8	2.8	6.5	12
12	0	0	6.0	10	26	2.8	2.8	6.5	12
13	0	0	6.0	10	27	0	0	6.5	10
14	0	0	6.0	10	28	4.2	4.2	4.5	11

说明：1. 以上数据均用MF386万用表的电压DC（10V或50V）和电阻（1kΩ）挡所测。
2. 表中静态数据是在接通电源、关上炉门后所测；直接按开始键S216 数据，是没有设置各种加热烹调功能的情况下所测。
3. 表中数据均是IC101（7805）中心脚为参考点（地）所测。
4. 表中数据均是在继电器的外接插件拔下所测。

例5：该微波炉在接通电源后，炉灯亮，转盘旋转，但不能烘烤加热。

分析与检修：这种故障一般是石英加热管、继电器RLA3损坏、接插件接触不良或其控制电路有故障等。拆开其外壳，用表直接测石英加热管EH 的接插件两端（上门控开关红黄线和继电器RLA3插件上的灰白线），电阻为无穷大，正常电阻应在40Ω左右。由此判断石英加热管开路或其接插件接触不良。再拆开石英加热管EH上的保护铁壳及固定壳，检查两根石英加热管EH，发现其中一根已开路。随后用一根大小相同的石英加热管换上后，故障排除。

五、集成块在路实测数据

主要集成电路的实测数据如表1、表2所示。

用伊万ET521型示波表检修彩电疑难故障

◎雷钟

伊万ET521型示波表是一款集25M数字存储示波器、示波表、万用表，60MHz频率计、60000μF电容表、数字电桥、红外信号检测、信号发生器为一体的测试仪器，同时具有40组波形存储、200组电压无纸记录功能。该示波表给从事维修和检测仪器的人员提供了极大的方便。例如在检测彩电时，遇到电路的电压都正常但就是没高压的情况，直接用示波表检测行推动变压器的次级，马上就能判断出行推动电路是否工作。还有在功放电路更换器件后需要进行整体调试时，用示波表上的信号发生器和示波器功能就能马上得知测试结果，非常方便。在维修手机和电脑主板时就要用上数字存储示波器。在维修工业电气设备时，由于工控的集成块脚位多，就要用到波形存储和200组电压无纸记录功能。本文介绍4例用ET521示波表的频率挡快速判断高压打火故障的检修实例。

例1　康佳29英寸彩电出现不定时关机现象。

开机，发现图、声正常，其他操作功能也正常。通电运行后，发现彩电会出现不定时自行关机。查看电路板，在电源电路、行、场电路都有用烙铁烫过的痕迹。我仔细查看了相关电路也没发现有虚焊和断裂情况。为了保险起见，再用热风枪把主板全部扫了一遍，但故障依旧。因此，怀疑有高压打火故障。将ET521示波表调到频率挡，将任意一只表笔接到地线上，开机，在关机的瞬间示波表发出了蜂鸣声，由此判断是高压打火。仔细查找，发现行输出变压器的高压输出端对偏转线圈处有一细细的打火痕，经认真处理后，故障彻底排除了。

例2　一台改装机，遥控器接收头屡次损坏。

该电视机的遥控器接收头屡次损坏，朋友送来后，我将ET521示波表调到频率挡，将任意一只表笔接到电视机的地线上，开机，示波表有连续的蜂鸣声，明显是存在高压打火故障，可是目视没有发现明显的痕迹。晚上关灯，看到行输出变压器的高压脐和线的接口处有很小的蓝光，关机，用高压胶布将其包扎好，再测量显像管地到主板地，阻值为30kΩ，仔细查找，发现了虚焊处，将其焊好，再用示波表试，无蜂鸣声，故障排除。

例3　一台JVC29英寸彩电在3个月内烧毁了7块场集成块，有时还自动停机。

开机检查，发现场块部分电路板已经烫得很烂，先把电路板处理干净，换一新的集成块，图、声正常，各路电压和相关波形也都正常。但在第二天下午突然出现自动关机了，再查场集成块已经损坏。检查外围没有问题。再更换一块新的场集成块，同时也更换了新的偏转线圈，开机3天后又损坏了场集成块，证明不是偏转的问题。换块后突然想到是否存在高压打火呢？将ET521示波表调到频率挡，将任意一只表笔接到电视机的地线上，开机，没有蜂鸣声，非常奇怪了，正巧出去检修其他机器，示波表没有关，但出现每间隔8分钟左右示波表会响一下，很明显是高压打火。晚上关灯后仔细观察，发现随着示波表的蜂鸣声，高压脐就对偏转线圈打一次火，问题终于找到了，仔细处理故障部位后，故障彻底排除了。

例4　一台JVC29英寸彩电，不定期热机烧毁行输出管。

开盖，查行输出电路，行输出管周围都已经被同行折腾得很乱了，先整理电路板，然后通电，发现图、声正常。开机约10分钟后，行输出电路部分波形基本正常，摸行输出管，温度比平常略高，但还在认可的范围内。继续试机，约半小时发现电视机自动关机。再量行输出管，已经烧毁了。该机的行输出管、逆程电容、偏转已经被同行更换过了，在他手里已经烧了10多个行输出管了。

是否行推动级有问题呢？再换一个管，开机，用示波表的示波挡，检测行推动的波形，正常。测行推动变压器的次级，波形也正常。当再次烧毁行输出管时，发现该管很烫手，判断推动级有问题。更换行输出管，将示波表的示波挡接到行推动变压器的次级，分别测推动级和行推动变压器的次级波形并存储。在试机20分钟时再测，发现行推动变压器的次级波形明显不对。继续观察，发现当行推动电路的行振荡频率变低（导通时间变长）时，就会使行输出管的温度升高，而初级线圈的波形一直是正常的，问题的症结找到了，拆下行推动变压器，发现变压器的次级线圈的根部已经发霉并一碰就断。更换新的变压器，故障彻底排除了。

自制吸锡电烙铁头

◎孙永峰

电子爱好者和专业从事电器维修的人员经常会碰到将损坏的元件从电路板上拆下来的工作，外行人可能会说，不就是拆卸元件吗，肯定比安装元件容易。其实不然，对于那些只有两个脚的电阻、电容元件还算好对付，而遇到引脚密集的集成电路就不那么好拆卸了。用尽九牛二虎之力，最后还难免会由于电烙铁在电路板上停留时间过长而伤及其他元件，或者十八般兵器全派上用场，损坏的元件虽卸了下来，但铜箔焊盘已面目全非。

最近笔者发现了一种新式武器—金属丝式吸锡电烙铁，其吸锡效果不同凡响，解决了拆卸元件时所碰到的上述烦恼。由于这种新产品在一些地方还不容易买到，所以我对其结构和原理进行了剖析，找到了适于电子爱好者DIY的方法，现将制作过程详述如下，希望与广大的电子爱好者一同分享。

所需材料：拉杆天线一个（新旧均可）；多芯塑胶线一段，细铜棒一段（要求其外径略小于拉杆天线金属管的内径）；外热式电烙铁一把。

所需工具：偏口钳，剥线钳，钢锯，锉刀。

制作方法：（1）将外热式电烙铁的烙铁头卸下来，将拉杆天线的几节不同直径的金属管拆开，选用同烙铁头外直径接近的那一节金属管，用钢锯锯下与烙铁头等长的一段，然后用锉刀将这一段金属管的端部锉成斜面，如图1所示。（2）用钢锯截取一段铜棒，其长度要求比烙铁头短12mm左右，并且用锉刀将铜棒的一端加工成如图2所示的形状。（3）用剥线钳将塑胶线的塑胶外皮剥掉约50mm长度，露出一束铜丝，用偏口钳将该50mm长的一束铜丝剪下来，对折后卡在如图2所示铜棒端部的卡槽内。然后将该铜丝和铜棒一起插入图1所示的金属管内，金属丝一侧对应金属管的斜面一端，如图3所示。（4）用偏口钳将露出金属管斜面外部的金属丝修齐，使其露出的部分保持在1~2mm即可。至此，一个具有吸锡功能的电烙铁头就大功告成了。

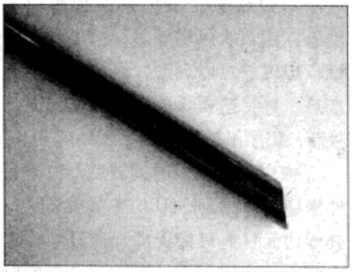


图1

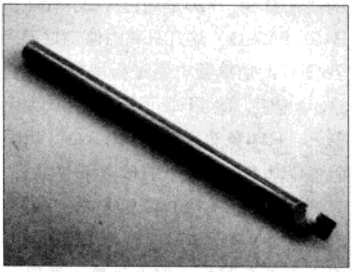


图2

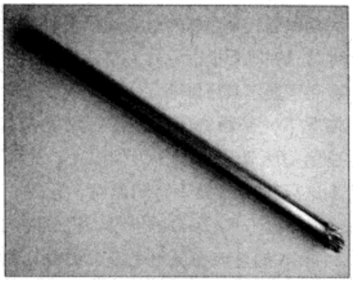


图3

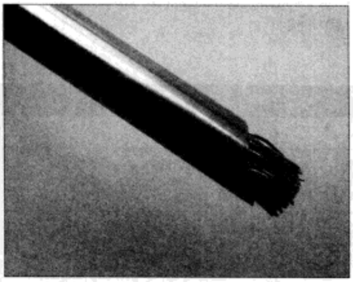


图4

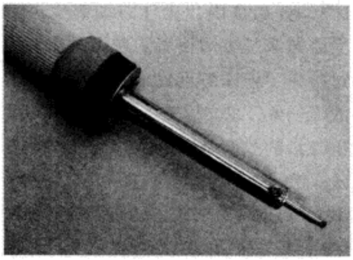


图5

使用方法：首先将它安装到外热式电烙铁上，如图4所示，拧紧固定螺丝，插上电源，待电烙铁温度升高后，蘸上松香水（助焊剂），再上锡，要保证烙铁头端部内的铜丝全部上锡均匀。在使用时，将吸锡烙铁头端部的铜丝与元件焊脚的焊锡紧密接触，轻轻旋转电烙铁，等焊脚上的焊锡熔化后，就会自动被吸附到吸锡烙铁头的铜丝中，此时焊脚上的焊锡被吸得干干净净。当铜丝中的焊锡太多时可以轻轻甩出来，继续吸下一个焊脚上的焊锡。

电磁炉的故障检修四例

◎孙洋

电磁炉有着安全卫生、环保节能、控温精确、操作方便等优点，受到越来越多消费者的青睐。在使用过程中，电磁炉也会出现各种各样的故障现象。本文以美的MC-SH2112型电磁炉的故障维修实例介绍其维修方法，供同行参考。

例1 通电后有初始化动作，按下轻触开关按钮，机器可以启动。但是有“滴滴”报警声，不加热。LED数码管没有故障代码，而是显示定时的时间，且定时时间可调。

维修过程：据机主讲，该机购买至今，只使用过几次，在某日准备做饭时，却出现了以上现象。该机表面较新，打开外壳，发现机器内部保养得较好。拆下机器的前面板，PCB上清楚地印有“YK-MC-SH2112-DSP”的板号和“2006－07－21”字样的制板日期。仔细检查面板各按钮以及各LED发光二极管，均未见异常。

机器的MCU主控制块是一片DIP-28封装的双列直插式IC，厂家自命名的贴纸型号标有MC-SH2112T（V.1）字样，11脚为IGBT驱动端。用示波器测量MCU主控制块的11脚到IGBT功率管的控制极G端，有正常驱动的波形信号，证实MCU主控制部分电路工作基本正常。由此可见，故障的原因不在前面板部分而应该在主电路板部分。

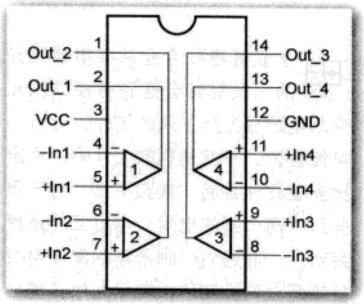
拆下机器的主电路板，发现同样印有“MC-IH-MOO VER：Y1.2”的板号和“2005－08－01”日期的字样。根据两块PCB板的字样标识，该机是美的公司2005年版的改良产品，于2006年下半年投放市场。

该机型采用了一块LM339四比较器集成电路，其IC内部工作方框图如附图所示。找来一台正常工作的同型号电磁炉，对LM339集成电路工作时各引脚的电压值进行测量，实测数据如附表所示。再对该故障电磁炉进行对比测试，发现该IC的1脚和7脚的电压值均为0V，而正常工作的电磁炉的LM339的1脚约为5V，7脚约为3.6V。显然，故障电磁炉的LM339外围电路有问题。

参照附图中LM339的内部工作框图得知，1脚为（OUT2）输出端，7脚为（IN2+）同相输入端。顺着PCB板上的线路查找，7脚是通过R13、R14、R15（240kΩ）这几只高阻值电阻连接到IGBT大功率管电路进行取样。测量这3个电阻，除了R15正常外，R13为无穷大，R14竟然增大到390 kΩ。用同阻值同功率的电阻代换R13和R14后，复测，LM339的1脚为4.9V左右，7脚为3.6V左右，表明电路已经工作正常了。将电磁炉装配好，放上锅具，通电，开机，“滴滴”报警声消失，故障彻底排除了。

附表 LM339正常工作时的实测数据

LM339各引脚正常工作时的电压数据（胜利VC9808型数字表20V挡位实测）							
脚位	1	2	3	4	5	6	7
功能	OUT2	OUT1	VCC	IN1-	IN1+	IN2-	IN2+
电压	4.95V	0.22V	18V	4.8V	3.21V	3.72V	3.62V
脚位	8	9	10	11	12	13	14
功能	IN3-	IN3+	IN4-	IN4+	GND	OUT4	OUT3
电压	0.82V	3.41V	5.62V	2.23V	0	0	2.21V



例2 通电后，电磁炉没反应。

维修过程：开盖检查，保险丝管发黑，证明电磁炉有严重短路。经检查，发现整流桥堆和IGBT功率管均击穿短路。更换后，未发现电路明显短路点。通电，不再烧保险管了，电磁炉“滴”的一声后便无任何反应。按电源开关键，无反应，说明内部电路还有问题。

经过检查，发现前面板有受潮现象。用热吹风驱潮后，按电源开关键，电磁炉可以启动，风扇转，但不加热。遂将前面板的有关按键，逐一换新，仍然不能加热。

检查主电路板的关键点，没有元件损坏。考虑到IGBT功率管损坏时，其周边元件有可能受损，遂仔细检查IGBT大功率管的周边各元件，未发现明显异常。当用数字表在路测量IGBT大功率管控制G端的一只二极管时，发现这只在PCB板上标号为Z1的稳压管，数字表显示其压降不足0.7V。一般正常情况下，普通稳压二极管在数字表上显示的压降值基本在0.7V以上。是不是这只稳压二极管有问题呢？于是，通过串接一只470Ω的电阻，将Z1接入24~30V的直流稳压电路中，测得其稳压值不足10V。查相关资料，这只稳压

管的值应该在18V左右。很显然，Z1接近软击穿状态。于是，换上一只18V的稳压管，故障彻底排除。

例3 通电后，电磁炉不工作。面板部分LED指示灯显示紊乱，蜂鸣器“滴滴”声不断。

维修过程：根据故障现象，初步分析认为前面板或MCU部分电路有问题。打开电磁炉，发现机内有轻度污染。本着先简后繁的原则，先清除污染，拆换明显不良的轻触开关按钮，通电试机，故障现象不变。接着，根据“面板部分LED指示灯显示紊乱”这一现象，怀疑MCU有问题。用一正常工作的电磁炉前面板置换故障电磁炉的前面板后，故障依旧，证明故障不在前面板部分，而在主电路板部分。

拆下故障电磁炉的主电路板，测量LM339的电源电压，在18V左右，正常，再测量LM339其他各脚电压，与附表中的数据出入较大，个别引脚的电压值还存在跳变现象。通常来讲，集成电路周边元件全部有问题的可能性较小，于是换上一块正常的LM339，重新测量各引脚的电压，与正常值基本接近。同时，此时面板部分LED指示灯显示紊乱的现象也消失了。重新装好电磁炉，故障彻底排除。

例4 在工作的过程中，有时正常，有时感觉加热不彻底，功率似乎有所降低。但面板操作指示发光二极管显示正常。

维修过程：此类故障是典型的软故障，处理起来比较棘手。由于电磁炉整体工作正常，只是有时候偶尔不正常，因此，检修起来，除了细心，还需要一定的耐心。

开盖检查，并未发现明显异常的元件。通常，造成这类故障大都是PCB板上有接触不良的元件，或者个别元件的稳定性劣变所致。首先，测量主电路板上的可调电阻，发现该电位器有阻值不稳定的现象，满心欢喜的认为找到了故障根源。于是，将其换新后交用户试用。不到两天，再次送修，证明故障并未排除。

静下心来，仔细分析查找。故障检修的思路应该不会有错，但是在数百个元件中，究竟是哪一个元件发生劣变呢？分析认为，电位器已经更换，且正常，那么，极有可能是玻璃管封装的感温元件性能劣变，而导致这一不稳定的故障现象。拔掉感温元件的连接插线，一边用数字表欧姆挡200kΩ的挡位测量其阻值，一边用电吹风对其加热。检查发现，在加热的过程中，其阻值直线下降。停止加热一段时间后，其阻值又逐步回升。从测量的结果来看，基本属于正常的变化。为了慎重起见，决定再测一次。这一次，一边用热吹风一直不停地加热，一边仔细观察数字表的变化，竟然发现，数字表上的数字在降到某一数值时，会反弹，接着又下降。这会不会是该元件的特性呢？于是，采用相同检测手法，通过对在一台正常工作的电磁炉上同一位置的元件的检测对比后发现，正常工作的电磁炉上的同一元件，并未发生以上现象。由此证实，确系该感温元件性能劣变。更换后，再次交用户使用至今，一直正常。证明故障已彻底排除。

尚朋堂电磁炉维修实例

◎杨舟成

目前生产的大多数电磁炉，为了减小电路板尺寸，大量使用贴片元件，这给维修增加了难度。根据笔者的维修经验，更换贴片元件时，焊接速度要快，否则极易损坏新换元件，造成人为故障。

例1 一台SR-CH2008W电磁炉，通电即显示E1，查故障代码为锅底温度过高，测锅底温度检测传感器NTC的电阻，阻值为92kΩ（正常），检测输入端口AN1电压，电压为5.2V。根据经验，此款电磁炉AN1端口电压高于4.8V，即会显示“E1”代码。试着在锅底温度检测的NTC上并联一只100kΩ电阻，测得AN1端电压为4.4V，“E1”代码消失。通电试机，电流在6~8A之间大幅摆动，似乎是检锅电路有故障。查图纸，检锅电路和锅底温度检测电路共用一块集成电路U2（LM358），怀疑此集成电路损坏，但此集成电路已被前一维修人员更换过，为确定判断是否正确，笔者将AN1端从插排上挑开，断开NTC上的5V偏置电压，测得AN1端的电压为2.02V。更换U2，再测AN1端电压，为0.98V，将AN1插回插排，测AN1端电压为4.3V，通电试机，电流稳定在6A有些微摆动，调整功率电位器VR1，使电流稳定在额定电流8.5A，故障彻底排除。

例2 一台K19D电磁炉，电流调不上去，更换U4后，电流断续不稳，怀疑贴片电容C61损坏。换C61（图标1μF，实测0.01μF）后，工作正常。

例3 一台K19D电磁炉，开机出现“E1”故障代码，显示为NTC过热保护。检查IGBT、NTC及相关电路正常，怀疑贴片电容C16损坏，更换C16后，通电试机，工作正常，故障排除。

怎样对付虚焊

◎李法资　段丽红

从事维修的工作人员或是业余爱好者一定都碰到过虚焊的故障，这类故障很多见，难以避免。其实，无论从劳动价值还是技术层面看，维修这种故障完全“可以收费”，但实际上，你还“真不好收费”，甚至还费力不讨好。由于不用换件，虚焊往往被有些人看成小毛病，举手之劳。但内行人知道，有些虚焊的故障真会叫人殚精竭虑。对付虚焊，绝对不是每次拿起烙铁就能手到病除这样简单而轻快。虚焊的故障特点就是机器时通、时不通，工作在一种不稳定状态。虚焊的原因之一是在生产过程中因生产工艺不当而引起；另一原因是电器在长期使用中，一些发热较严重的零件的焊脚处出现了老化剥离直至氧化的现象。当然可能还有其他的原因。下面谈谈我对付虚焊采用的主要方法和步骤。

观察法

这是修虚焊故障最直接，也是最有效的方法。万事熟能生巧，观察也需要一定的技巧，可以适当按压和扭动电路板来查找虚焊点，也可以配合用表笔和更细的工具来拨动元件的引脚，特别要注意那些发热较严重的零件。还有那些重量比较重的、容易引起电路板变形的元件引脚及其附近的焊点，先用毛刷把电路板清洗干净，维修中当发现焊点周围一圈细细的黑纹时，就比较兴奋，十有八九找到了病根。黑纹就是很细的裂缝，长期热胀冷缩引起的。这种裂纹容易在开机一段时间后引发故障，关机冷却一段时间后开机又能正常。我的体会是只要光线好，即便是很小的焊点，即使不用放大镜也不会漏网。比较大的虚焊的引脚一般伴有比较明显的氧化，焊接时要注意清理，处理好氧化面，以免除后患。实践证明比较大的焊点，焊接质量较差，容易形成虚焊，相信大家一定会有这样的体会。

模糊补焊法

当观察法不能奏效的时候，可以考虑使用模糊补焊法，也有人叫“盲焊”法，就是对某一部分电路进行大面积的补焊，虽然是无奈之举，但往往有一定的效果，所以我们不拒绝。盲焊其实也有一定针对性，要根据故障现象，锁定对应的范围。有一个故障印象很深，本人曾检修过一台索尼电视机，有时黑屏，经按压电路板确定是虚焊，对按压很灵敏，但反复补焊不能如愿。最后一次补焊后，观察3天都正常，也经得起轻拍或按压电路板，本以为大功告成，没想到用户用三轮车拉走，经过路上的颠簸，回家后就不能看。当时真是很郁闷，辗转反侧，有黔驴技穷之感，想知难而退，叫用户到别处去检修，但用户很理解人，明白这种毛病不好修，安慰我不要着急，大胆放心地检修，此电视机不等着看。用户这种态度叫人无法拒绝，只能知难而上。注意到相关的部分电路有很多小的贴片元件，这次我用针尖仔细拨动按压那些细小的焊点，全面检查并补焊，也算天道酬勤，最后问题终于解决了，在查找的过程中，我认为“针尖”这个工具起了很好的作用 。盲焊的方法虽为不得已而为之，有时却也能解决大问题，对小的焊点，小信号处理的集成块这种方法用的比较多一点。

原理分析法

以上两种方法如果不能奏效的话，就必须采用理论分析的办法，按照故障现象按部就班分析，这是根本的方法。大家知道，虚焊虽然一般为软故障，但都有与之对应的硬故障，并没有本质的区别，就按照处理硬故障的思路来进行。也是一台索尼的彩电，出现一种软故障，对比度不足，时好时坏，轻轻弹一下机壳就能恢复，据用户说，在附近躲一下脚，甚至大声咳嗽一下故障就会出现或消失，听起来不可思议，但我接机后，发现情况确实如用户所言，真是无奇不有。经过两次补焊，故障依旧，感觉故障不好查找，一味“盲焊”也不是上策。后来我找来图纸，寻找对比度控制的有关线路走向，按照检修对比度不足的思路进行分析，这样需要找的焊点就比较明确，补焊也就有的放矢了，我借助尖针，根据原理逐点按压排查，最后终于找到了虚焊点，由于过程艰辛，现在回想起来仍记忆犹新。

以上是对付虚焊的基本方法，除此之外，还有别的一些小的技巧，顺便提一下，虚焊接触不良往往伴有轻微的打火，在白天一般是看不到的，晚上不开灯（如果是维修电视机，必要的话将电视机的亮度也关死），在漆黑的环境下，就可能会看到打火的现象，有些故障就会真相大白。本人用此法查出过比较疑难的故障，大家有机会的话，也不妨一试，简单的方法或许也能有意外的惊喜哦。

问与答

提问指南

路径1：登录本刊的网站www.radio.com.cn，进入“技术论坛”，以注册会员的身份发表新帖子，路径2：投送本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过以上路径投送自己的问题，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 现在网上有不少固件提取软件，可提取相应机型的固件，以供固件损坏的播放器使用或作为备份固件。据此我们从两台不同机型的MP3播放器中提取了ATJ2085主芯片使用的固件，再去刷一台主芯片相同、但固件损坏的MP3，但是用两种提取的固件多次试验都刷不成功，这是什么原因？怎样解决？ (北京　于大雷等)

A 这种情况颇为常见，但处理不当就会白白浪费许多时间。用软件自行提取的MP3固件有不少并不能用，这是软件的缺陷或提取方法存在问题等原因造成的，因此一般只能作为一种尝试。如果不行，还是要找到原厂的同型号固件，这样才能刷成功。另外，注意不要搞错固件的型号，有些爱好者往往将固件的版本号当作型号，这是不对的。如果不了解固件型号，可找主芯片型号和印制板编号相同的固件。 **(王德沅)**

Q 一台CASIO FX82型科学计算器，以前使用一直正常，最近发现不开机也显示“0”，而且不能清除，按动所有按键都不起作用，无法关闭计算器，更换新电池故障依旧，多次检查电路，包括擦拭印制板等，但都找不到故障原因？ (河南　马国林)

A 这种故障通常都是由电池漏液引起的。因为计算器耗电微小，电池使用寿命较长，容易发生漏液现象而不被人重视，这样漏液侵入印制板等就会引起短路等状况，从而导致出现所述故障。有些漏液及其残留物比较隐蔽，不仔细检查就不易被发现，所以，实际上只要用无水酒精彻底清洗印制板，就能排除此故障。注意有时漏液会滞留在计算器后盖上，极易被忽视，要细查，并彻底清除，以防故障复发。 **(王德沅)**

Q 一台家用电脑的USB插口发生故障，经检查发现USB插口与主板安装紧密，自己修理有难度。于是送修，但是维修部也表示要换主板才能修好，需要四五百元。这台电脑的其他功能都是正常的，为了USB插口要花这么大代价太不划算，不知有否其他修理或补救办法？ (南京　蒋兴奇)

A 这种故障主要是USB输入电路或接口电路所致，由于元器件微小、结构紧凑、印制电路排列细密，所以维修难度较大。不过，维修实践表明，USB插口故障大都是插口接触不良、脱焊、片状电阻断路等原因造成的，因而可仔细检查是否存在这些问题，若有只要作重焊等处理即可。由于一般电脑至少有2个USB插口，通常所有插口都同时损坏的可能性很小，所以，如果检查不出什么问题，也可在没损坏的插口上连接一个USB HUB（集线器，亦称USB接口延长控制器），这样可以使插口延伸并且扩展，又能拥有两个以上的USB插口了。 **(王德沅)**

Q 一款主芯片采用ATJ2091H 的MP3播放器，使用中不慎摔落在地，重新开机，发现没有显示，亦没声音。直觉感到是由晶体振荡器引起的故障，拆机调换一个24.576MHz晶体振荡器，播放功能恢复正常。但是后来发现不能与电脑联机，经反复检查USB插口和连接线等，都没发现问题，不知怎么排除这种故障？ (浙江　孙国强)

A 这种故障主要是晶体振荡器的谐振频率不对所致。主芯片为ATJ2091H的MP3播放器，通常采用24.000MHz的晶体振荡器，与24.576MHz晶体振荡器甚为接近，有些维修人员往往忽略了这点，代换后在有些电脑中播放器能被识别，有些电脑就不能识别或不能读写文件。所以，只要调换一个24.000MHz的晶体振荡器，与电脑之间的通信功能就可恢复正常。 **(王德沅)**

Q 维修电磁炉时，经常需要测量判断IGBT管子的好坏,请问如何用万用表测量判断IGBT管子的好坏？谢谢。 (广东　王志刚等)

A IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)即绝缘栅双极型功率管，是由BJT(双极型三极管)和MOS(绝缘栅型场效应管)组成的复合全控型电压驱动式电力电子器件。检测IGBT管时，可用指针万用表的R×1k挡，正反测G、E及G、C两极的电阻，正常均应为无穷大；然后红笔接C极，黑笔接E极，若所测值在3.3~4.3kΩ，则为含阻尼二极管的IGBT管，若所测值在50~100kΩ，则所测IGBT管内不含阻尼二极管。如果测得IGBT管有两个引脚的电阻很小，说明该管已击穿损坏。若测得IGBT管所有引脚间的电阻均为无穷大，则表明已开路损坏。实际维修中以IGBT管击穿损坏为多见。 **(王德沅)**

Q 用随机光盘上的工具和文件给一台汇影牌Hy-622 MP4播放器刷新固件，刷完后重启播放器，发现无显示，播放音乐时只有波形图，没有声音。想重新刷回原来的固件，但上网找不到原配固件，只好用代用品（据说可用），可是刷完后开机一直显示mini mp4 player，不能使用了，而且连接电脑也没反应，真急人！这是何故？ (上海　黄融等)

A 许多爱好者都会遇到这种情况，问题主要出在固件不符合要求，所以刷固件时需十分仔细，必须找到完全与原机相配的固件，并且要正确操作才行，否则可能白费大量时间和精力也不能搞好。找固件时，除了参考播放器牌号或型号外，还需注意印制板板号和显示屏型号要与原机使用的相同，最好到生产厂商的网站上去下载。对于已经刷错的播放器，可以短路闪存芯片的数据引脚任意两端（可用29、30脚）后连接电脑，待电脑找到设备后就可解除短路，然后按正确方法刷新固件即可。 **(王德沅)**

问与答

Q 问：一把凯里来RCY-805型电吹风，在使用中突然发出异响，感觉风速也慢了，还闻到了焦糊味，赶紧关闭电源，待机身冷却后，再次开机，但是时间不长就再次发生同样故障，这是什么原因？怎样排除这种故障？

（江苏　刘松林）

A 电吹风工作时电热丝发热温度很高，因此对电机的要求较高，按规定要配置超温保护器，但是有的电吹风为了降低成本而免去了超温保护器，这是十分危险的，可能会使电吹风工作时因过热而起火，甚至烧毁，引起火灾或人身伤害等事故。从所述故障现象看，该电吹风没有安装超温保护器或保护器已经失灵，因为电机发出异响和焦糊味，说明已经超温，但电源却没有自动切断。检修这种故障，第一要排除电机和风叶的故障，保证电机正常运转，第二是检查超温保护器（通常串接在电机电源电路中），如果损坏，需要更换。倘若原来没安装，应该补装，以保证使用安全。

（王德沅）

Q 一台新科8311型DVD播放器的主轴电机不转，测量电机两端有3.3V电压，测量电机两端电阻为无穷大，据此可否判断电机已经损坏？此电机是什么类型的电机？能否代换？

（山西　娄学锋）

A 这种故障大都是电机转子换向器和电刷间接触不良所致，一般能够自行修复。只要拆卸电机，清除换向器和电刷间的污垢，并且用水砂纸或文具橡皮仔细打磨光亮就可，复装好后就能正常使用了。8311型DVD的主轴电机是普通的直流电机，只要工作电压相同、体积相仿、能够安装的普通DVD主轴电机一般都可代换。

（王德沅）

Q 问：一台杰威牌HCD2009P型电话机，当外线打入时，铃声响一下便自动挂机，而其他功能都正常，检查振铃电路和开关电路等元件均正常，不知该如何修理这种故障？

（湖南　王飞等）

A 这种故障通常是电话线路电压过低造成的。如果电话线路正常，而且没在线路上连接有两台以上的电话机或安装“电话灯”之类的设备，一般就是电话机本身的故障，通常是电话机的输入电路耗电过大所致，可重点检查电话机内输入线路相应的印制电路是否漏电，并接在线路两端的超压保护管或者压敏电阻是否损坏等，也可以切断该保护管或电阻一端。如果故障排除，说明该元件不良，只要更换一只同型号的压敏电阻或保护管就能排除故障。若断开保护管或电阻后故障依旧，就需仔细检查电路板存在的漏电区域，然后进行清洗和烘干等处理后即可。

（王德沅）

Q&A 提问指南

路径1：登录本刊的网站www.radio.com.cn，点开“技术论坛”页面后在进入“家电维修”子论坛，以注册会员的身份发表新帖子；路径2：投送本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过以上路径投送自己的问题，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 问：我家的一台联想电脑最近总是要启动两次才能正常工作。每次启动后1~3分钟就莫名其妙地自动关机，但是实际机器没关，只有长时间按开机键才能彻底关机，再开机是非法启动界面，然后这次启动就正常工作了。每次都是这样，需要启动两次。系统还原或系统重装后故障依旧，检查电源也完全正常。这是何故？怎么解决？

（云南　周坚）

A 这种故障看似疑难，其实是没有抓住关键问题。由于你重装系统后故障依旧，说明基本与软件无关。在硬件方面，导致自动关机故障通常是CPU和电源部分的问题，如果电源没问题，那么大都是CPU散热不良，一般是CPU风扇停转或滞转所致。所以检修时，可拆卸风扇，清除风扇轴承及其附近的污垢，然后加上1~3滴轻质油或缝纫机油就行了。如果风扇电机损坏严重，这样处理后仍旧不能正常工作，那么就应该换新件。

（王德沅）

Q 一台大功率电动三轮车充电器损坏，检查发现系开关对管G40N60B3击穿损坏，请帮助提供其电气参数或者代用件型号。

（四平　李利锋）

A G40N60B3系IGBT管，其内部结构与电磁炉用的开关管相似。其电气参数为BV_{ces}=600V、I_C=70A、P_D=290W。可以用耐压更高的G40N150D（1500V、70A、200W，内含阻尼二极管）直接代换。另外，依笔者维修经验，电动车充电器并不耐用，且成功修复并能正常使用的概率较低，若遇烧毁严重的，建议废弃，避免徒劳操作。

（刘福胜）

Q 一台直冷式双门电冰箱，使用多年一直正常，最近发生不停机故障，压缩机始终在不停地运转，怀疑机械温控器失灵，但是新购两个类似型号的温控器代换后故障依旧如此，这是怎么回事，如何排除这种故障？

（河北　兰明扬等）

A 电冰箱不停机一般有两种原因：一种是温控器失灵，另一种是制冷系统内漏，导致制冷剂泄漏、制冷量不足，维修实践表明前者远多于后者。如果电冰箱的制冷足够，故障基本就是由温控器引起的，通常只要调换温控器就可解决问题。但需要强调的是，目前有许多温控器配件并不是原配的，只是一些厂商生产的同类代用品，其性能与原件相差很大，其中的劣质品根本就不能使用，因此，检修时要先细查温控器的连接和感温头的安装是否正确，如果都没问题，那么就是新装的温控器不良，需要调换良好的温控器才能排除故障。

（王德沅）

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

路径1：登录本刊的网站www.radio.com.cn，点开“技术论坛”页面后再进入“家电维修”子论坛，以注册会员的身份发表新帖子，路径2：投送本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过以上路径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 我们新购了一个采用瑞芯RK2608主芯片方案机型的MP4播放器，仅仅使用3个多月，就发现在播放时，图像容易出现花屏或马赛克现象，这是什么原因？如何排除？

（内蒙古 吴依然）

A MP4出现视频马赛克花屏图像，通常主要原因有3个：一是视频缓存（SDRAM）芯片的地址线跟主控芯片的连接断路，此故障不会影响声音。二是闪存FLASH中有存储单元损坏，此时图像只是偶尔会出现马赛克花屏，同时声音也异常。三是显示屏损坏。一般以第一种原因为多见，而且大多是视频缓存芯片的引脚脱焊所致，所以，只要对视频缓存芯片脱焊的引脚进行认真仔细地补焊，保证连接可靠就可排除故障了，如果吃不准到底有几个引脚脱焊，可将全部引脚都补焊一遍。如果是第二或第三种原因，可以采取以调换或修复闪存，或者调换显示屏。

（王德沅）

Q 一块致铭945芯片的主板，使用半年后音频输出插孔内部出现接触不良现象，声音时有时无，用手摆动3.5插头后干脆无声了，测信号线良好，不知该怎么解决?

（四平 叶子恒）

A 因耳机和音箱交替使用而频繁插拔音频信号线，极易引发插座内部接触不良的故障。处置这种情况的简洁办法就是在主板上另插一块PCI声卡，如早期的CT5880或雅玛哈724（音频输出插孔有音频信号和耳机输出两个，可分别插音箱和耳机）。听音要求稍高的用户可以安装一块创新5.1声卡，这样既能修复故障又可改善音质。

（刘福胜）

Q 看见市面上有0.25米直径的卫星天线出售，没有馈源，不知道能接收那颗卫星的节目？效果怎么样？

（黑龙江 吴昊）

A 你所说的0.25米卫星平板天线，是用于接收2008年6月9日我国发射的“村村通”中星9号直播电视卫星的，按计划定点于东经92.2度赤道上空。目前，该卫星转播中央的1、2、7、10、11、12、新闻、少儿频道，各省、自治区和直辖市的卫视频道，以及7套少数民族语频道和中央人民广播电台在内的多套各省、自治区、直辖市的广播。经过了解和接收试验，在我国境内大部分地区都可以使用0.25米卫星平板天线进行室外接收，且效果良好。

（刘福胜）

Q 一款科上美牌MP3播放器，该机是采用矩力主芯片方案的机型，机上的“下一曲”按键经常失灵、有时要按键多次才有作用，手感非常不爽。想调换一个按键，但未能购到配件，想自行修理一下，但没有经验，害怕拆卸坏按键开关，请问有没有较好的解决方法？

（广西 杨咏平等）

A 这种故障甚为常见，因为该按键开关操作频繁，日久后就容易使开关疲劳而出现接触不良，甚至完全损坏。如果购不到配件，可以将使用频率相对较少的“上一曲”按键开关与这个按键开关互换，这样就可较好地解决问题。此外，现在网上已经有不少MP3的配件供应，这种按键开关的价格也比较便宜，可尝试上网搜索、联系购买。

（王德沅）

Q 问：半年前购买的三星21.6英寸液晶显示器，最近在屏的右上角出现一个暗点，但购买的时候肯定是没有的，不知道能否给更换或者修理？

（鞍山 李硕）

A 据了解，出厂的液晶显示屏上面容许有3个坏点（亮点/暗点）存在，但这些坏点应分布在屏的边缘才行。而你这种已经使用半年才出现1个坏点的显示器，估计商家是不会给你更换的，而所谓的维修就是更换新屏，因成本极高，承诺维修的可能性很小，只要其他方面无异常，也只有使用了。

（刘福胜）

Q 有一块80G的移动硬盘，有的时候插到电脑上能找到，有的时候却又找不到，不知何故？

（吉林 韩伟光）

A 80G移动硬盘的工作电流一般都会高于500mA，而电脑USB接口只能给出500mA的电流，所以在供电不足时，自然就找不到硬盘了，而同时接入两个USB插口就可以满足供电要求，数据读取也很安全。请注意，因设计和制造缺陷，移动硬盘在个别奔腾4架构的主板上使用，极易毁坏南桥芯片，安全起见，请慎用移动硬盘。

（刘福胜）

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

路径1：登录本刊的网站www.radio.com.cn，点开“技术论坛”页面后再进入“家电维修”子论坛，以注册会员的身份发表新帖子；路径2：投送本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过以上路径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。 **（本栏编辑）**

Q 有一把电子灭蚊拍，原来使用效果很好，蚊虫和飞蛾等虫子只要触网基本都会被击毙，甚至烧焦。但是最近发现击杀威力大大减弱，一些虫子触网后往往停顿一下就飞走了，调换两节新电池也一样，这是怎么回事？如何解决？ （广东　左宝军等）

A 此类电子灭蚊拍大都是由高压电网、电子升压电路、电池等组成的。发生这种故障的主要原因是电网上的电压太低或功率容量太小，使得虫子触网后击毙率不高或只能被击伤，甚至无效。除了电池能量不足、接触不良等因素会引起电网电压不足之外，还有高压电容漏电或容量减小、高压电网的网间漏电等也会明显减弱高压。检修时，排除了电池方面的原因后，可拆下高压电容进行检查，如不良，应该用0.33~0.68μF、耐压大于1800V的优质高压电容换上。如果电容正常，再仔细检查高压电网，找出网间漏电处，清除污垢，然后拨正两层（或多层）网间的距离，再用无水酒精清洗即可。 （王德沅）

Q 一台洗衣机中的电动机被烧坏，拆开检查，发现电机绕组表面都有些烧焦了，需要重新绕制，但是有两个绕组，其中一组的漆包线比另外一组粗点，不知两者的区别何在？如何绕制和连接？ （浙江　曲东明等）

A 这种洗衣机采用的是电容式单相电机。两个绕组中，使用漆包线较粗的为主线圈，另一组称副线圈。修理时，通常可按照原两组数据重新绕制。由于需要两种直径的漆包线分别绕制主、副两组绕组，比较麻烦，所以实际上副绕组也可用与主绕组一样直径的漆包线绕制，实践表明效果也不错。连接时，主绕组两端直接作为电源端，副绕组的一端串接一个电容连接到主绕组一端，另一端直接连接主绕组另一端。试机时如果发现电机反转，只要对调连接主或副绕组两个线头就可解决。最后浸渍绝缘漆再烘干，就可安装使用了。 （王德沅）

Q 一台新科8311型DVD播放器的主轴电机不转，测量电机两端有3.3V电压，测量电机两端电阻为无穷大，据此可否判断电机已经损坏？此电机是什么类型的电机，能否代换？ （山西　娄学锋）

A 这种故障大都是电机转子换向器和电刷间接触不良所致，一般能够自行修复。只要拆卸电机，清除换向器和电刷间的污垢，并且用水砂纸或文具橡皮仔细打磨光亮就可，复装好后就能正常使用了。8311型DVD的主轴电机是普通的直流电机，只要工作电压相同、体积相仿、能够安装的普通DVD主轴电机一般都可代换。 （王德沅）

Q 一台SHARP微型CD音响中有一块型号为LT1057的集成块损坏，但是本地无法购到，能否用其他型号的集成电路代换吗？ （湖北　崔杰明）

A LT1057是一种高性能通用型双运放集成电路，在音响电路中主要用作双音频前置放大器。LT1057的封装形式有多种，较常用的是8脚双列直插和双列扁平塑封两种，各引脚功能如下：1脚－A（放大器，下同）输出，2脚－A反相输入，3脚－A同相输入，4脚－电源负端，5脚－B（放大器，下同）同相输入，6脚－B反相输入，7脚－B输出，8脚－电源正端。LT1057可用LM833、OP275、OPA2604、NE5532等直接代换，注意要选购相同封装的产品。 （王德沅）

Q 一台窗式单向排气扇，使用多年，最近突然发现风叶不转了，但是指示灯仍旧正常点亮，是否电机损坏？怎么检修？ （安徽　姚斌等）

A 指示灯点亮，说明220V市电已进入排气扇电路，通常故障是电机连接电路断路、电容器损坏或电机、风叶本身损坏所致。在维修时，可用手拨动风叶几圈，凭手感来判断风叶或电机转轴有无明显卡阻感。排除了机械故障的可能性后，再用万用表分别测量电容器和电机及其连接线，找出发生断路的元件或连线，进行维修或更换即可。如果连接正常，再检查电容。排气扇常用1~2μF的CBB60或CBB61等型交流电容，质差的电容工作日久会失效、漏电或接触不良等，从而导致排气扇不转或启动不良。如发现电容不良，应予更换。如果电路连接和电容都正常，那么大都就是电机的问题了。实践表明，这种故障通常以电容损坏、电机绕组引线断裂、脱焊和连接线脱落松动等为多见。 （王德沅）

Q 问：为了将三星E908型手机和电脑连接通信，安装了Samsung PC Studio 3 管理软件，再启动这个程序，但是只是出现“向导”对话框，管理程序并没启动，从软件文件夹里直接启动程序，只见程序界面闪现一下就自动消失了，后来删了软件，重装，还是一样。怎么办？ （河南　陈泽宇）

A 这是让一些用户颇感困惑的常见问题，其实是操作步骤有问题。正确操作应该是：安装好Samsung PC Studio 3 管理软件，启动程序，出现“向导”对话框是正常的，此时应该用USB连线连接手机至电脑（也可之前就连接好），随后单击“向导”对话框的“下一步”，待出现“电脑成功识别手机”的提示后，单击“结束”，对话框随之关闭，Samsung PC Studio 3 管理软件就会自动启动。这样，以后再打开管理软件就不需再识别手机，直接就会运行管理软件了。 （王德沅）

Q&A 问与答

Q&A 提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 有一台直冷式双门电冰箱，最近发生不停机故障，开机后压缩机就运转不停，经检查，发现是温控器失灵造成的，但是无法购到这种型号的机械温控器，不知是否可以用其他类似的温控器代换？或者有其他较好的解决方法？

(河南 黄齐胜等)

A 目前许多型号的机械温控器确实很难购到，可考虑选用代换产品。但是，市场上或网上供邮购的不少温控器并不是原配型号的，只是一些同类代用品，其性能与原件相差很大，有的根本就不能使用，而且安装时可能也有问题，所以购买时一定要搞清楚，如果吃不准就不要买。在购买不到合适代用品的情况下，可以考虑用电子温控器代替，但安装调试比较麻烦。简便实用的方法是，在电冰箱电源插座上安装一个插头式定时器，电冰箱通过定时器连接电源，以定时开关冰箱的方法来控制电冰箱的启停，虽然不能完全实现温控功能，但是作为应急或要求不高的使用还是比较方便实用的。

(王德沅)

Q 居住的小区在一次雷电过后，击坏了不少的家用电器、电视和电脑。按常理，小区的供电系统都有防雷，并且插座带有接地保护，怎么还会损坏电器呢？

(黑河 张杨)

A 首先要说明的是，尽管有防雷设施，在雷雨天里也要尽量关闭或者少用家用电器、电脑以及电话和手机等通信器材。这是因为雷电瞬间释放的能量十分巨大，破坏性极强，既可以从供电线路侵入，也可以从天线（闭路电视线）、网线侵入，甚至是空中强磁辐射也会击毁通信器材，说雷电无孔不入并非夸大其词，所以雷雨天气，应拔下重要家电的电源插头以防损毁。

(刘福胜)

Q 有一台全钢结构的光驱，使用1年多后发生不读盘故障。拆机检查，观察光盘旋转及光头组件的动作等,都没发现异常，用镜头纸擦干净透镜，后来又调高激光功率，但是都没效果，不知何故？怎么解决？

(福建 苗文卿等)

A 如果光驱没经不当维修和使用，造成不读盘故障的常见原因除了透镜污染和激光管衰老外，还有就是机械方面的因素（这种因素容易被忽视）。检修时，应该仔细观察激光头组件的动作和光盘旋转的状况。倘若光盘旋转正常，就要特别注意激光头组件在滑动杆上的滑动是否有动作不顺畅等的现象，如果有，应该关掉电源，用手轻推几下激光头组件。若有较明显的受阻感，就表明有问题。这往往是滑动杆的润滑油干枯而且沾满灰尘污垢所致，只要用无水酒精或四氯化碳将滑动组件清除干净，然后加上润滑油，就可使光驱读盘恢复正常。

(王德沅)

Q 一把日威牌W526型充电电须刀，拨通电源开关后没有反应，插上电源插头充电，发现充电指示灯不亮，拆机检查，发现电源线脱焊，重新焊接好，开机后刀头仍无动作，但是用一节5号电池临时接在充电电池两端，电机就会转动了，这是何故?怎么解决？

(浙江 潘嘉倪等)

A 这种故障主要是充电电路或充电电池不良造成的。检修时，通常可检查充电电路印制板的焊点和各元件连接是否有脱焊、断路等现象，如果都没问题。再检查主要元器件是否损坏，重点是保险电阻、整流二极管、振荡升压变压器和晶体管等。倘若都正常，那就是充电电池失效了，需调换新件。但是充电电池大都是衰老，充电后往往能用一会，完全失效较少见，这点在维修时需要注意。实践表明，通常保险电阻、整流二极管和晶体管较易损坏，可分别用22kΩ/ 3W的保险电阻、1N4007和2N5551直接代换。

(王德沅)

Q 对一款采用炬力ATJ2091主芯片方案的MP3播放器刷新固件，刷新完后发现不能开机使用了，而且连接电脑后找不到设备。从网上看到：固件升级失败后可用“短路”闪存的数据端来解决，但是不知短路哪些引脚？该机的闪存为K9K4G08U0M。

(上海 刘国才)

A 可以短路闪存芯片D0~D7（即29~32和41~44脚）中的任意两脚，具体步骤简述如下：在电脑上安装升级程序工具。拆开播放器，取下或不接电池，用尖头镊子短路闪存芯片的上述两脚，短路好后连接电脑和播放器的USB线，连接后系统会找到一个ADFU的设备，找到设备后就可拿开镊子。再运行固件升级程序，按说明书介绍的固件升级方法进行刷新即可。

(王德沅)

Q 用一个台电酷闪U盘拷贝文件，后来发现有几个文件打不开，提示已经损坏，但是删除后却无法再拷贝，电脑提示“无法复制”。重新退出U盘再插入，发现被删除的文件又出现了，只是文件为空、大小变成0字节了，怎么办？

(上海 朱永华等)

A 这是U盘内部存在缺陷造成的。遇到这种情况，比较实用而简单的解决办法是：首先拷贝U盘中的所有文件到电脑，再用电脑对U盘进行格式化，然后再重新将电脑中备份的文件复制回U盘即可。注意：请用“FAT”系统格式化，如果使用FAT32 等文件系统进行格式化，就可能会造成无法格式化、无法存储、复制或文件出错等问题。如果格式化后仍旧存在这个问题，表明U盘部分损坏，需要作专业检修。

(王德沅)

问与答

Q 一台华生NP180-20型挂壁式暖风机，开启送风电源开关，送风指示灯点亮，但电机不转，没有风吹出，再开启电热电源开关，两个指示灯都点亮，过一会儿就感到机器发热。检查电机电压和电容都正常，怎么排除这种故障？ (江苏 陈文斌等)

A 出现这种故障，应及时关闭电源，否则发热器工作久了，没风“空烧”，可能使故障扩大，甚至引起事故。由于电机电压和电容都正常，故障应该是在送风电机组件（包括电机和滚筒风叶等）或相应的电路中。如果测量电机主绕组的电阻为650Ω左右，副绕组没断路，电机转轴灵活，那么电机基本正常。倘若电机相应连线也正常，则问题大都是电机转轴运转受阻引起的，常见原因是滚筒风叶被异物卡住或位置变动，可拆卸滚筒风叶，清除异物，调整轴承位置，使之转动灵活，再拧紧轴承固定螺丝即可。如果测量电机的主绕组电阻很大或开路，说明电机连接线断路或绕组断路，需要修理或调换电机。 (王德沅)

Q 新购一台采用瑞芯微RK2606A方案的视频MP3播放器，使用3个多月就发生故障，不能使用了，开机后屏幕出现“电池电压低，关机”，不知何故？怎么解决？ (上海 高少锋等)

A 这种故障通常是充电电池不良或芯片电源检测电路损坏所致。检修时，可先测量电池电压，正常为3.8~4.1V。排除了电池问题后，可检查主芯片RK2606A的电源检测电路，重点是RK2606的103脚外接电阻R4（100kΩ）和107脚外接电阻R5、R6（100 kΩ）。如果检查电阻阻值明显不对，在排除107脚外围电路存在短路或漏电的可能后，只要调换100 kΩ电阻就可排除故障。如果有些播放器的107脚外接电阻R5、R6不易查找，可以直接用外接100kΩ电阻的方法试机和修复机器。 (王德沅)

Q 有一台富宝801型空调扇，原来使用效果一直不错，今年拿出来清洁后，准备天热时使用，但是经试机发现，刚把电源插头插入插座，插座板的保险丝管即被烧断，仔细检查机内电源电路，没发现有短路现象，这是何故？怎么解决？ (湖南 陶少杭)

A 这种故障的源头一般在电源插头，是电源插头内部短路所致，只要用万用表测量一下便可确认。许多人都以为这种一体化密封塑料插头不太可能发生内部短路故障，往往忽视这点，其实不然，维修实践表明此种故障并不罕见。由于电源插头采用的绝缘材料或制造工艺不良，插头就容易产生短路故障。这种电源插头通常不可修复使用，否则还可能出现相同故障，甚至发生安全事故，所以应该更换整条包含插头的电源线，或者调换可拆卸的电源插头（剪去原插头，连接新插头）。 (王德沅)

提问指南

读者若有问题需要解答，请将问题发至本刊邮箱：radio@radio.com.cn。如果读者不能通过网络途径投送自己的提问，请来信寄到本刊《问与答》栏目，信中最好注明您的联系电话。

（本栏编辑）

Q 我们单位的一个存储了重要资料的台电牌闪盘，最近发生以下故障，插入电脑USB插口后，电脑能识别闪盘，但是打开闪盘盘符时却提示“磁盘未被格式化，想现在格式化吗？”由于有重要资料，不能格式化。后来到过多家维修部也都没有人敢接修。能否取出闪盘里面的文件？ (山东 安海生)

A 这种问题比较常见，但是处理不当就会造成很大损失或白费许多时间和精力。根据我们的经验，通常可采用下面两个解决方法：一是可用“闪盘数据恢复专用软件”（可网上搜索下载），取出闪盘里面的文件。这种方法简单易行，缺点是可能会有少数文件不能恢复。二是先拆卸闪盘里的闪存芯片，然后再插入电脑，会提示格式化，进行格式化，然后再装入原来有数据的闪存，这样闪盘就可以正常存取数据了。这种方法比较复杂，但是只要文件不损坏就可全部读出，缺点是对有些闪盘可能不适用。

(王德沅)

Q 一块蓝海牌闪盘的存储功能不正常，拆开闪盘，发现所采用的闪存型号为：HYF33DS1G800ATC，不是常见的三星、现代、东芝等牌号品种，找不到相应资料，不知是什么牌号的闪存芯片？型号中有1G字样，是否表示该U盘的容量为1GB？ (浙江 陶 魏等)

A HYF33DS1G800ATC是德国“英飞凌（Infineon）”科技公司生产的芯片。该闪存型号中的1G字样，表示芯片容量为1G bit，相当于我们常说的容量为128MB（Byte）。bit（“比特”）的中文名称是位，是用以描述电脑数据量的最小单位，而Byte（字节）则是电脑技术用于计量存储和传输容量的一种计量单位，1个字节等于二进制的8位，即1Byte=8bit。该器件对应的三星闪存为K9T1G08U0，对应的东芝闪存是TH58100FT等。 (王德沅)

Q 一台美的EF197型电磁炉， 开机通电无任何反应，检查电源进线正常，保险管没烧断，场效应功率管也正常，后怀疑变压器损坏，测量后发现初级绕组断路，但是购不到配件，不知能用其他元件代换吗？ (河北 顾学林)

A 这种电磁炉变压器可以到当地特约维修部联系购买或上网搜索相应网点进行网购。如果难以购到或购买麻烦，也可自行设法修理，多半能够奏效。因为这种变压器初级绕组中一般都设置了过热保护器，变压器损坏大多是这个过热保护器被熔断所致，所以，只要小心拆开变压器外边的绝缘层，找到这个过热保护器，调换一个同型号或同规格的保护器就行了。如果一时没有过热保护器，也可直接短路该保护器，但是只能作为应急使用，以后还是要装上.。另外，要注意保持电源电压的稳定，否则过热保护器等元器件容易损坏。

(王德沅)

电子制作必备技能（一）

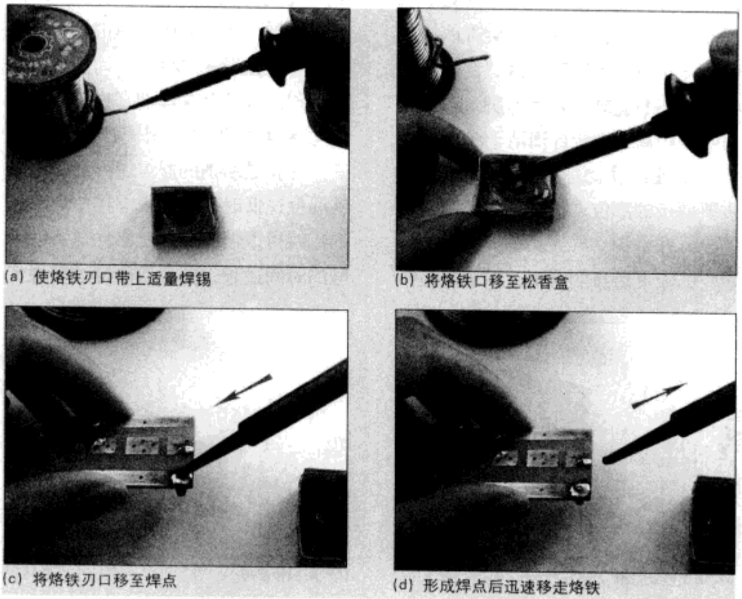
焊接其实并不难

◎张晓东

电子制作是一项让制作者既动手又动脑的非常有趣的科技实践活动。电子制作并不神秘，入门也不难。但它既然是一门科学，也就不是马马虎虎、不费气力可以学会的。初学电子制作不仅要学习一些基本的知识，更重要的还要掌握一些最基本的操作技能，这样才能动手进行制作，才能取得预期的效果。

大家知道，在电子制作中，各个元器件必须依靠焊接，才能有可靠的电气连接，并得到支撑和固定。焊接是电子爱好者对焊锡工艺的称呼，焊接的过程就是用电烙铁使焊料（焊锡）熔化，并借助焊剂（如松香）的作用，将电子元器件的端点与导线或印制电路板等牢固地结合在一起。对焊点的要求是连接可靠、导电良好、光洁美观。

用电烙铁焊接是电子制作的基本技能之一。良好的焊接是电子制作成功的重要保证，反过来说，焊接不良，往往会使制作失败，甚至损毁元器件。看起来焊接操作简单、容易，但要真正掌握焊接技术，焊出高质量的焊点，却并不那么容易。为使初学者快速熟练地掌握焊接基本功，笔者结合多年来的实践经验讲述焊接方法、经验和技巧，希望读者能够认真阅读领会，并多进行焊接练习，不断提高焊接水平。



(a) 使烙铁刃口带上适量焊锡
(b) 将烙铁口移至松香盒
(c) 将烙铁刃口移至焊点
(d) 形成焊点后迅速移走烙铁

图1 带锡焊接法

焊接基本操作

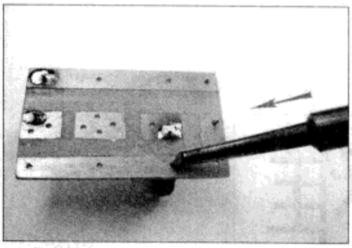
常用的焊接方法主要有带锡焊接法和点锡焊接法两种，分别见图1、图2。

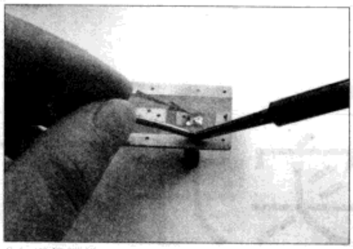
带锡焊接法的好处是可以腾出左手来抓持焊接物，或用镊子（尖嘴钳）夹住元器件焊脚根部帮助散热，防止高温损坏元器件。另外，所用焊锡不一定非要用带有松香芯的焊锡丝，普通焊锡都可以。一般在焊接点不是太多或焊接小物件的情况下，此法显得很方便。

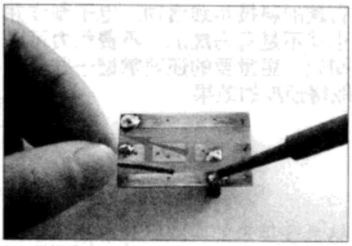
点锡焊接法具有焊接速度快、焊接质量高的特点，它适用于多元器件快速焊接。但注意所用焊锡丝必须要有松香芯，否则易出现焊点不粘锡现象。所选焊锡丝的直径应根据焊点的大小确定，一般以直径为0.8mm或1mm粗细的为宜。

焊接10字要领

焊接技术作为一项基本功，在


(a) 加热焊点


(b) 送焊锡丝


(c) 撤焊锡丝

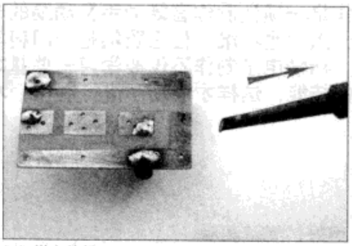

(d) 撤电烙铁

图2 点锡焊接法

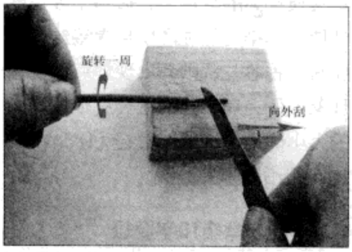
电子制作中有着举足轻重的地位。用电烙铁手工锡焊时需要掌握一定的技巧，这技巧实际上包含在焊接10字要领——“一刮、二镀、三测、四焊、五查”的焊接全过程中。

一刮： 刮就是焊接前要按照图3所示，做好被焊金属物表面的清洁工作，可用小刀、废钢锯条等刮去（或用细砂纸打磨掉、用粗橡皮擦除）焊接面上的氧化层、油污或绝缘漆，直到露出新的金属表面。自制的印制电路板在焊接前，也需要用细砂纸或水砂纸仔细将覆铜箔的一面打亮。“刮”是保证焊接质量的关键步骤，却常常被初学者所忽视，刮不到位，就镀不好锡，也不好焊接。需要说明的是，有些元器件引线已经镀银、金或经过搪锡，只要没有氧化或剥落，就不必再去刮它，如表面有脏物，可按照图3（c）所示用粗橡皮擦除。粗橡皮的选择以绘图用的大橡皮效果最好。有些镀金的晶体三极管管脚引线等，在刮掉镀层后反而会难以镀上锡。无论采取何种形式的“刮”，都要注意不断旋转元器件引脚，务求将引脚的四周一圈全部清洁干净。

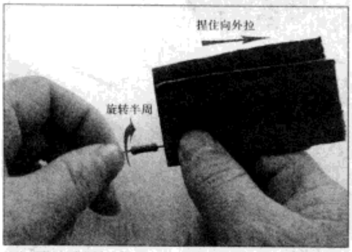
二镀： 镀就是按照图4所示，对被要焊接的部位进行搪锡。“刮”完的元器件引脚、导线头等焊接部位，应立即涂上适量的焊剂，并用电烙铁镀上一层很薄的锡层，以防表面再度氧化，以提高元器件的可焊性。镀的焊锡层要求又薄又均匀，为此烙铁头上每次的带锡量不要太多。怕烫的晶体二极管、晶体三极管等元器件，事先一定要按照图4（b）所示，用镊子或尖嘴钳夹住引线脚根部帮助散热，再进行镀锡处理。元器件搪锡是焊接技术中防止虚焊、假焊等隐患的重要工艺步骤，切不可马虎。

三测： 测就是对搪过锡的元器件进行检查，看元器件在电烙铁高温下外观有无烫损、变形、搭焊（短路）等。对于电容器、晶体管、集成电路等元器件，还要用万用电表检测其质量是否可靠，发现质量不可靠或者已损坏的元器件决不能再用。

四焊： 焊就是把“测”试合格的元器件按要求焊接到印制电路板或指定的位置上去。焊接时一定要掌握好电烙铁的温度与焊接时间，温度过低，时间过短，焊出来的锡面就会像图5（a）那样带有毛刺状尾巴，表面不光滑，甚至呈图5（b）所示的豆腐渣样，有可能由于焊剂没有全部蒸发完，在焊锡与金属之间留有一定的焊剂，冷却后靠焊剂（松香）把焊锡与金属面粘住，稍一用力就能拉开，这就是所谓的假焊。再者，电烙铁温度过低时就急于去焊接，焊点上的锡熔得很慢，被焊元器件与烙铁接触的时间过长，就会使热量过多地传



(a) 用小刀刮



(b) 用细砂纸打磨

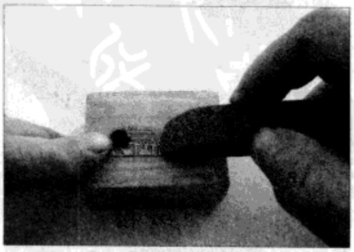
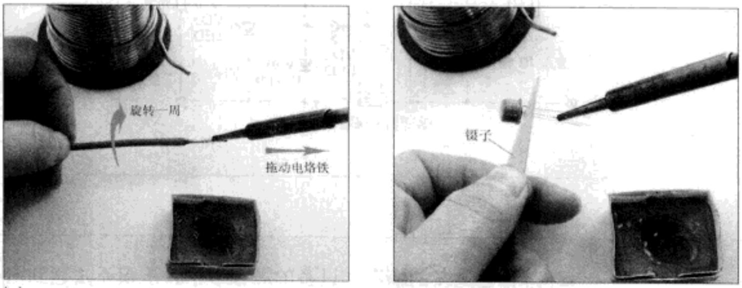

(c) 用粗橡皮擦

图3 一刮

送到元器件上去，使元器件受损（如电容器塑封熔化，电阻器受热阻值改变等），尤其是晶体管，管芯热到100℃以上就会损坏。反之，电烙铁温度过高，焊接时间稍长就会造成焊锡面氧化，焊锡流散开，使焊点像图5（c）所示的那样吃锡量不足，仅有很少的焊锡将元器件引线与金属面相连，接触电阻很大，一拉就断开，这就是所谓的虚焊，严重时还会造成印制电路板敷铜箔条卷曲脱落、元器件过热损坏等。电烙铁温度是否适宜，可以凭借经验根据烙铁头化锡时间长短及头上附着的焊锡量多少来判定。焊接时间长短应保证焊点圆滑光亮，一般为2～3s，稍大些的焊点也不要超过5s。焊晶体管等易损件，仍同镀锡时一样，用镊子、尖嘴钳等夹住引脚根部帮助散热。此外，焊锡用量要适当，切忌用一大团焊锡将焊点糊住，像图5（d）所示的那样，从焊点上锡面就能隐隐约约分辨出引线轮廓，而从焊点侧面看呈火山状，就是一个合格的焊点。在手持电烙铁焊接时，不要用烙铁头来回摩擦焊接面或用力触压，实际上只要加大烙铁头斜面镀锡部分与焊接面的接触面积，就能有效地把热量由烙铁头导入焊点部分。需要注意，在焊接完成移开电烙铁后，要等到焊点上的焊锡完全凝固（4～5s），再松开固定元器件的镊子或手，否则焊接件引线有可能脱出，或者焊点表面呈豆腐渣样。焊接后，如发现焊点拉出尾巴，用电烙铁头在松香上蘸一下，再补焊即可消除。若出现渣滓棱角，说明焊接时间过长，需清除杂物后重新焊接。印制电路板上的元器件应悬空后焊接，元器件体距线路板面应有2～4mm空隙，不可紧贴在板面上，晶体三极管还要高一些。较大的元器件，在插入电路板孔后，可按图6所示，将引线沿电路铜箔条方向弯曲90°，留2mm长度压平后焊接，以增大牢固度。焊接集成电路等高输入阻抗器件，如无法保证电烙铁外壳与大地可靠连接，可以采用拔下电烙铁电源插头后利用余热焊接。在焊接印制电路板时，也可采取先插电阻器，逐点焊接后，统一用偏口钳或指甲刀剪去多余长度引线，然后再焊电容器等体积较大的元器件，最后焊上不耐热的易损的晶体三极管、集成电路等。

五查：查就是对焊好的电路进行一次焊接质量的检查，焊点不应有假焊、虚焊及断路、短路，特别是电解电容器、晶体管等有极性元器件的管脚是否焊接正确。焊接质量好坏可通过焊点的颜色与光泽、扩散程度、焊锡量三个方面加以判别。良好的焊接，焊点具有独特的亮白光泽，凭经验一眼就能看出，如果焊锡的颜色和光泽出现污点或表面有凹凸不平，就表明焊接不良。而焊锡在附着物表面的扩散程度，同样可以判定焊接质量的优劣，在图7所示的图形中，图7（a）表示优良的焊接状态，图7（b）是介于好与差之间的状态，图7（c）是渗透不足的油炸饼状态。至于焊点的焊锡量，可参照图8所示的在印制电路板上焊接导线时，使用焊锡量的标准图形来判定。图8（a）是焊好后焊锡形成缓缓上升的山坡状，由焊锡表面即可判定导线的确切位置，表示焊锡量适当。图8（b）是



(a) (b)

图4 二镀

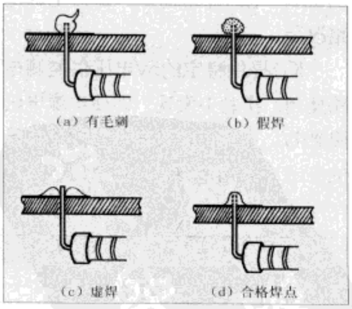


图5 焊点质量鉴别

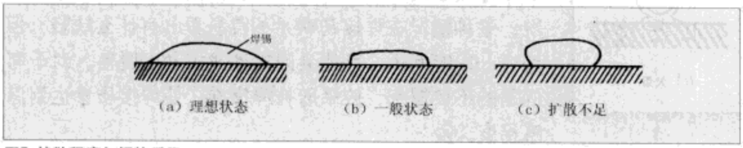


图7 扩散程度与焊接质量

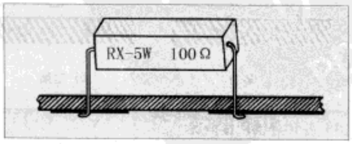


图6 较大元器件在印制电路板上的焊接

简单实用的熔断器监测电路

◎茅凌云

用作电路安全保护的熔断器（俗称保险丝）因价格低廉、使用简单、适用范围广的特点而被广泛采用。然而一旦有保险丝熔断你必须想办法找到并更换它们。如能有一个电路来监控保险丝的工况，在保险丝熔断后，能发出提示，帮助使用者或维修人员快速直观地找到问题原因。特别是有些由陶瓷之类物质做成实芯的快速熔断器或保险电阻，它们是无法通过检查外观来判断熔断器是否已经断开，熔断器监控电路就更加显得有必要。下面介绍这种电路的工作原理。

工作原理

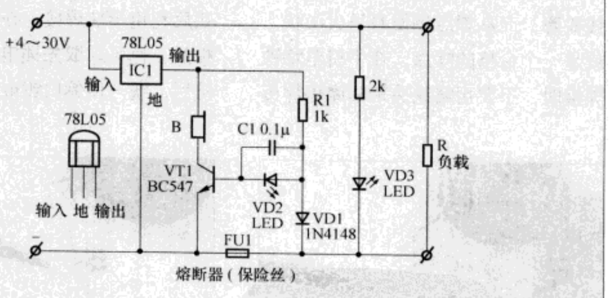
附图是该熔断器监测电路原理图。它能实时监控熔断器的工况：一旦熔断器断开，该电路就会立即发出声光提醒。电路适用工作电压可从4V到30V。电路非常简单，适合电源电路改装。

IC1提供稳定的5V电压供监测电路使用。实验中发现，即使电源电压降到4V，电路仍能可靠地监控熔断器的工况。当熔断器FU1正常时，VD1正向导通，其正向压降不够自闪烁发光二极管VD2和VT1工作，这时VT1截止，蜂鸣器B不发声，电路处于监控待机状态。一旦FU1断开，负载电源回路被切断，VD1此时截止，5V电源电压通过R1，VD2使VT1立即导通，B得电发出报警声音提示，同时VD2因为有电流流过也不停地闪烁发光，从而实现电路的声光提醒，报警。C1的作用是防止由于VD2工作过程中通断造成B有“咯嗒”声。VD3是负载电源指示灯。FU1正常时，VD3发光指示熔断器和负载电源工作正常。

制作与测试

制作时，元器件可参考图中选择，无特殊要求。B采用自振荡蜂鸣器，这样只要在通电情况下就能发出“嘀嘀”的提示声。VD2可选用任意的自闪烁发光二极管。如果不需要闪烁提醒，可采用普通的LED替换。此时C1可以省略。VT1（BC547）可用常见的8050替换。电路测试时可先用开关代替FU1进行测试。

电路只要接线正确，无须任何调整就可以正常工作。



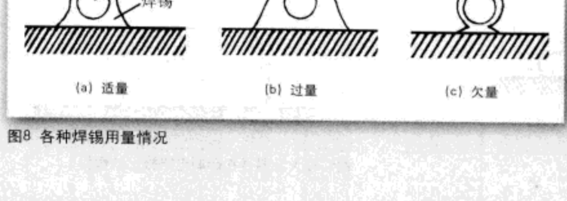


图8 各种焊锡用量情况

焊锡量过多的情况。过多的焊锡堆积，不仅无法达到增加机械强度的预期目的，还有发生虚焊现象、与附近焊点相碰（短路）的危险。图8（c）则是焊锡量不足的情况。这种情况在焊接初期并不容易看出有什么缺陷，但经过一段时间后，可能会因震动或拔动而脱落。对于有问题的不良焊点，应采取补焊措施，使焊接质量达到满意程度。

电子制作基本技巧（二）

◎张晓东

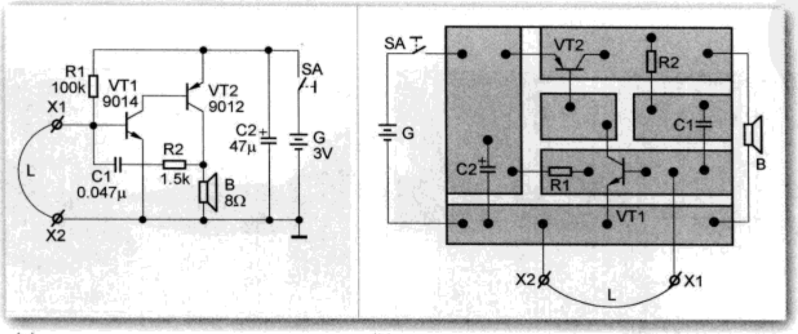
适合初学者的印制电路板制作方法

印制电路板是一种在专门的敷铜绝缘基板上，有选择性地加工和制造出导电图形、元器件安装孔和焊接点的组装板。印制电路板在电子制作中作为一种基础组装部件而占有重要的地位。

工厂大规模生产的印制电路板是经过制版、印刷、腐蚀、打孔等一系列工艺完成的，而业余条件下印制电路板的制作方法也有许多种。对于初学者来讲，由于制作所用元器件一般都比较少，印制电路板都很简单，所以这里推荐一种最简单、最方便的手工方法——刀刻法。下面我们以图1所示的“断线式防盗报警器”的印制电路板接线图为例，介绍用刀刻法制作印制电路板的全过程。

在介绍刀刻法制作印制电路板之前，有必要向读者讲清楚印制电路板接线图是怎么回事？印制电路板接线图又叫电路板安装图，它是根据元器件在电路板上安装的实际位置绘制的，按照这个图可以迅速找到某元器件在印制电路板上的具体位置，它为制作安装和维修提供了依据。印制电路板接线图实际上是电路图和印制电路板图的“二合一”图（参见图1所示），读者按照此图可以制作出符合要求的印制电路板来，然后按图正确焊接元器件和电线，最后做出整机。但在印制电路板接线图上，一般只标有元器件的符号和位置，不像电路图中那样标出其数据和型号，所以在制作时每当要确定某个元器件的数据和型号时，还需要电路图配合才行。

需要指出的是，各种书刊（包括图1在内）所介绍的印制电路板接线图，除了特别说明外，通常都是铜箔板朝向读者，而元器件、电线等则是从印制电路板背面通过引脚（线头）孔穿出，并焊接在铜箔板上的。



(a) (b)

图1

裁取敷铜板

敷铜板的实物外形如图2所示。常用敷铜板的基板是酚醛纸基板（简称纸质板）或环氧酚醛玻璃布板，厚度有1.0mm、1.5mm、2.0mm、2.5mm……多种规格。基板表面用特殊工艺粘合一层厚度约0.05mm的铜箔。如果基板一面粘合铜箔，就称为单面敷铜板，如果基板的两面均粘合铜箔，就称为双面敷铜板。酚醛纸基敷铜板的板面一般为黑黄色和淡黄色，它的优点是价格便宜，不足之处是机械强度低、耐高温性能差、易受潮而变形。环氧酚醛玻璃布敷铜板的板面呈淡黄色，具有较好的透明度，它的优点是电绝缘性能好，能耐高温、能耐化学溶剂、不易受潮变形，还有较好的机械性能，但价格相对要贵一些。业余电子制作采用价格便宜的酚醛纸基敷铜板即可满足大部分要求，但有些高频、超高频电路的制作则应选择使用环氧酚醛玻璃布敷铜板。

用刀刻法制作印制电路板时，由于面积比较小，所以一般采用厚度1mm的单面敷铜板就可以满

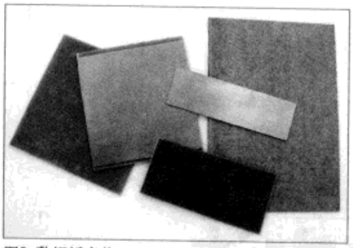


图2 敷铜板实物

足要求。甚至工厂大规模生产印制电路板时所产生的边角料，都是我们理想的选料。图1的印制电路板实际尺寸是30mm×20mm，可按照图3所示，先用钢板尺、铅笔在单面敷铜板的铜箔面画出30mm×20mm裁取线，再用手钢锯沿画线的外侧锯得所用单面敷铜板，最后用细砂纸（或砂布）将敷铜板的边缘打磨平直光滑。注意：画裁取线时最好紧靠敷铜板的一个直角，这样只需要画两条裁取直线即可；锯敷铜板时不要沿画线走锯，否则锯取的敷铜板经砂纸打磨后尺寸就会小于要求许多。

刀刻敷铜板

刻制印制电路板所用的工具是：刻刀、钢板尺和尖嘴钳（用直头手术钳效果更佳），刻制流程如图4所示，可分为画除箔线、刻透除箔线、剥掉除箔条等三大步骤来完成。

对于残留的铜箔，可用刻刀铲除。对于刀口存在的毛刺和铜箔上的氧化物等，可用细砂纸（或砂布）打磨至光亮。

钻孔

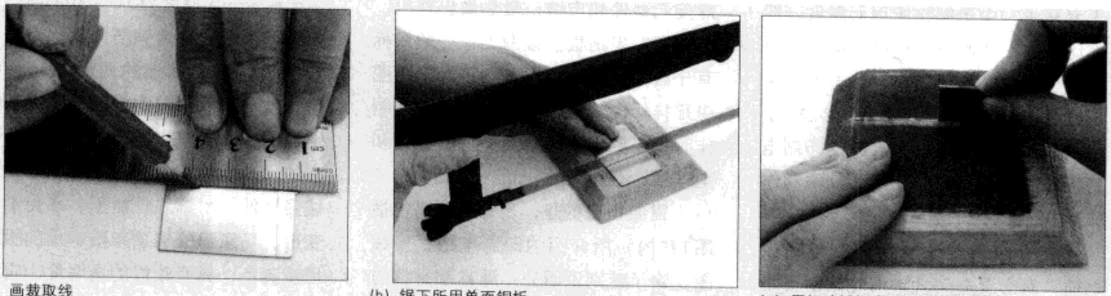
刻好的印制电路板，在业余条件下可将元器件直接焊在有铜箔的一面，这样可省去在印制电路板上钻元器件安装孔的麻烦，而且可以很直观地对照着印制电路板接线图焊接元器件，不易出错，这对于简单的电路尤为适用。但是大多数制作还是要求给印制电路板钻出元器件安装孔。

钻孔前，先用锥子在需要钻孔的铜箔上扎出一个凹痕，这样钻孔时钻头才不会滑动。如嫌用锥子扎凹痕吃力，可用尖头冲子（或铁钉）在焊点处冲小坑，效果是一样的。钻孔时，按照图5所示，钻头要对准铜箔上的凹痕，钻头要和电路板垂直，并适当地施加压力。

钻孔时还要注意，装插一般小型元器件接脚的孔径应为0.8～1mm，稍大元器件接脚和电线的孔径应为1.2～1.5mm，装固定螺丝的孔径一般是3mm，应根据元器件引脚的实际粗细等选择合适的钻头。如果没有适当大小的钻头，可先钻一个小孔，再用斜口小刀把它适当扩大就行；对于个别更大的孔，可用尖头小钢锉或圆锉来进一步加工。

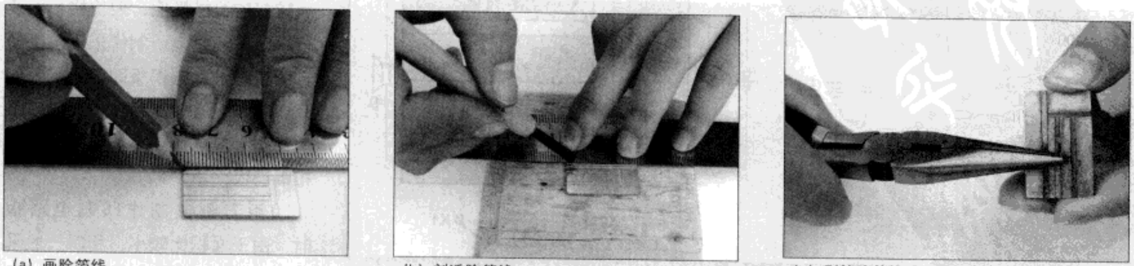
涂刷“松香水”

钻完孔的印制电路板，按照图6所示，用细砂皮轻轻打磨（或用粗橡皮擦除）铜箔表面的污物和氧化层后，



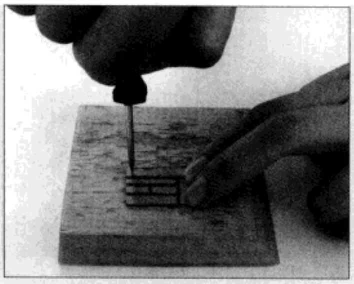
（a）画裁取线　（b）锯下所用单面铜板　（c）用细砂纸打磨

图3

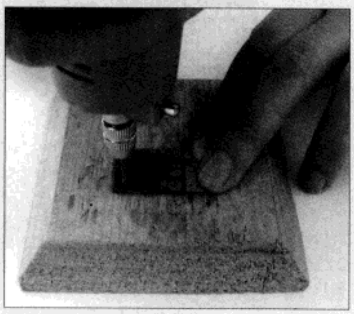


（a）画除箔线　（b）刻透除箔线　（c）剥掉除箔线

图4

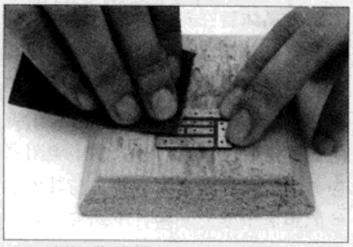


(a) 用锥子在铜箔上钻孔

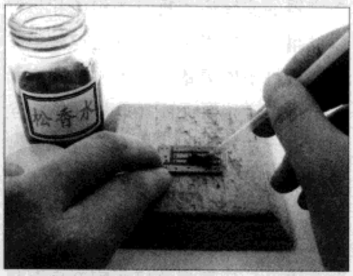


(b) 用钻头在铜箔上钻孔

图5



(a) 打磨铜箔表面的污物和氧化层



(b) 涂刷一层松香水

图6

还需要用小刷子在铜箔面均匀地涂刷上一层自己配制的松香酒精溶液（俗称“松香水”），待风干以后，方可大功告成。涂刷松香酒精溶液的目的是：既保护铜箔不被氧化，又便于焊接，可谓一举两得。

松香酒精溶液是一种具有抗氧化、助焊接双重功能的溶剂。松香酒精溶液的配制方法是：在一个密封性良好的玻璃小瓶里盛上多半瓶95%的酒精，然后按3份酒精加1份松香的比例放进压成粉末状的松香，并用小螺丝刀（或小木棍）搅拌，待松香完全溶解在酒精中即成。松香和酒精的比例要求不是十分严格，可根据自己的情况灵活配置。松香加得少，漫流性要好些；松香加得多，助焊效果要强些。这种松香溶液涂在铜箔上，其中的酒精很快地蒸发掉，松香在铜箔表面形成一层薄膜，可使铜箔面始终保持光亮如新，防止氧化。在焊接时，松香还起到助焊剂的作用，使得铜箔很容易上锡。松香酒精溶液存放日久，由于酒精的挥发，溶液会变稠，这时可以再加些酒精稀释。

顺便指出，这种自制的松香酒精溶液，可作为液态焊剂涂在刮去污物和氧化物的元器件引脚等焊件上，以利于焊接。

元器件的安装

元器件的规格多种多样，引脚长短不一，装机时应根据需要和允许的安装高度，将所有元器件的引脚适当剪短、剪齐，如图7所示。

元器件在电路板上的安装方式主要有立式和卧式两种。立式安装如图8（a）所示，元器件直立于电路板上，应注意将元器件的标志尽可能朝向便于观察的方向，以便于核对电路和日后维修。元器件采用立式安装法时，占用电路板平面面积较小，有利于缩小整机电路板面积。卧式安装如图8（b）所示，元器件横卧于电路板上，同样应注意将元器件的标志朝向便于观察的方向。元器件采用卧式安装时，可降低电路板上的安装高度，在电路板上部空间距离较小时很适用。根据整机的具体空间情况，有时一块电路板上的元器件往往采用立式和卧式两种混合安装方式，如图8（c）所示。

由于受安装环境等因素的限制，有些元器件的引脚在焊接到电路板

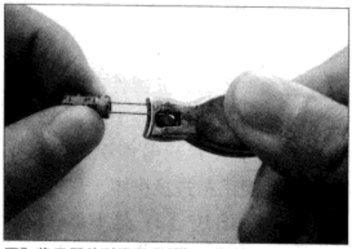
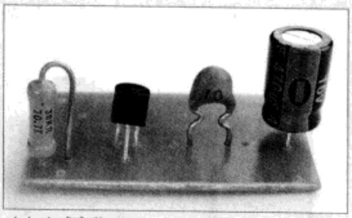
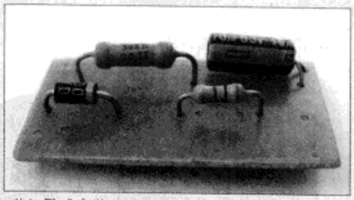


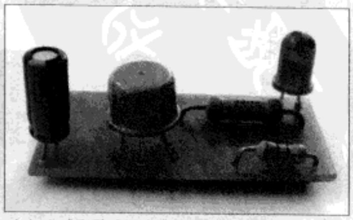
图7 将元器件引脚适当剪短、剪齐



(a) 立式安装



(b) 卧式安装

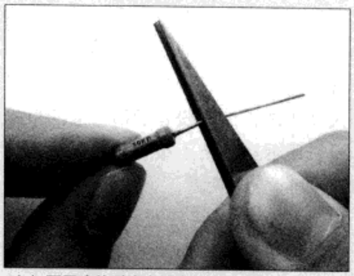


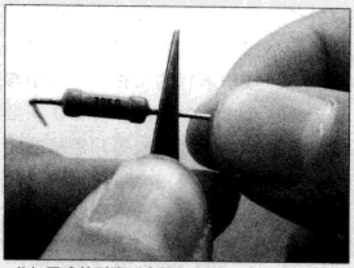
(c) 立式和卧式混合安装

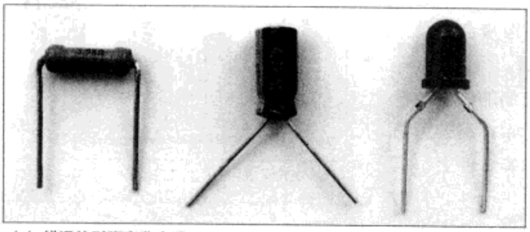
图8

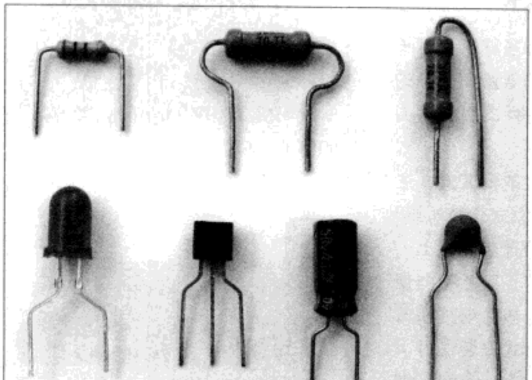
上时需要折转方向或弯曲，通常我们把这一整形过程叫做“弯腿”或“窝腿”。但应注意，所有元器件引脚都不能像图9（a）所示的那样齐根部折弯，以防引脚齐根折断。塑封半导体器件如齐根折弯其管脚，还可能损坏管芯。即使当时侥幸没有损坏，但由于引脚根部长时间受到机械应力，也会留下后遗症。元器件引脚需要改变方向或间距时，一般要求引脚弯曲点至根部的距离不得小于3mm，也不要弯成直角，应弯成圆弧状（弯曲半径不得小于2mm），常见正确的“弯腿”形状如图9（b）所示。

业余制作时，元器件引脚的“弯腿”可借助于镊子（或尖嘴钳），方法是用镊子夹紧元器件引脚靠根部的部分，用手指去扳引脚，形成自然“拐”弯。图10（a）是不正确的弯腿方法，即用镊子（或尖嘴钳）去把引腿“拐”弯。图10（b）是正确的弯腿方法，即用镊子夹住引脚靠根部部分，起保护根部的作用，而用另一只手的手指把引脚扳（或压）弯。


（a）不正确的引脚弯腿方法


（b）正确的引脚“弯腿”方法
图10


（a）错误的引脚弯曲方法


（b）正确的引脚弯曲方法
图9

在电路板上安装元器件时要注意安装顺序。一般应先安装低、矮、小体积卧式元器件，然后安装立式元器件和大体积元器件，最后安装易损坏的晶体管、集成电路和不易安装的特殊元器件等。这可归纳成“先低后高，先轻后重，先易后难，先一般后特殊”这样一句口诀。对于一些较简单的电路，也可以将元器件直接搭焊在电路板的铜箔面，如图11所示。采用元器件搭焊方式可以免除在电路板上钻孔的麻烦，简化了制作工艺。

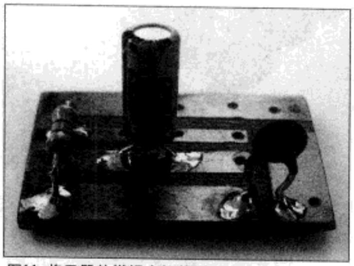


图11 将元器件搭焊在铜箔面

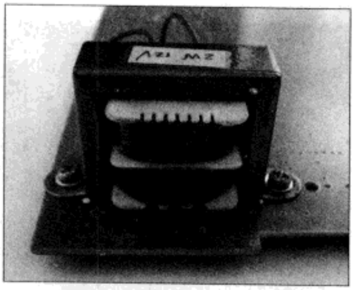


图12 用镙丝固定电路板

安装不同的元器件时，还应掌握它的安装要求，并对照印制电路板接线图或装配图正确焊接。各种集成电路、晶体管在安装时应分清它的型号及管脚，认准排列，不要插错或装反。电阻器在安装时，应区分同一电路中各个不同阻值、功率、类型的电阻器的安装位置，对于大功率电阻器应与底板隔开距离大一些，与其他零件的距离也要大一些；小功率电阻器可与底板近一些，并采用卧式安装。电容器的安装应根据它的种类和极性以及耐压情况确定，尤其是电解电容器，极性不能搞错。元器件外壳和引线不得相碰，要保证1mm以上的安全间隙，无法避免时，应套上绝缘管。对于金属大功率晶体三极管、变压器等自身重量较重的元器件，仅仅直接依靠引脚的焊接已不足以支撑元器件自身重量，应用螺丝钉固定在电路板上，如图12所示，然后再将其引线焊入电路板。

电子制作基本技巧（三）

电子DIY实用技巧集锦

◎张晓东

要想尽快提高自己的电子制作水平和能力，掌握一些独门绝技非常有用。下面我们就向大家介绍一些笔者和其他电子爱好者通过长期实践总结出来的非常有用的经验和技巧，希望能对读者的制作起到事半功倍的作用。

让螺丝刀挂住小螺钉

在用螺丝刀装卸机壳或电路板角落里的小螺丝钉时，人手无法直接送取螺丝钉至安装位置，只能借助镊子来实现，但中途脱失掉入元器件空隙或摆放位置不正的现象时有发生。如果准备一块小磁铁，每次装卸小螺丝钉时，按照图1（a），将螺丝刀头部在小磁铁上轻划几下，螺丝刀就会被立即磁化，便可像图1（b）所示的那样吸挂住铁制小螺丝钉进行装卸了，这比使用镊子还要方便。如果手头没有小磁铁，在普通扬声器的磁钢上碰几下同样也能够磁化螺丝刀。

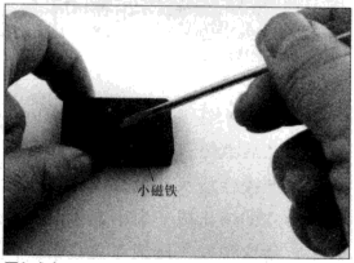


图1（a）

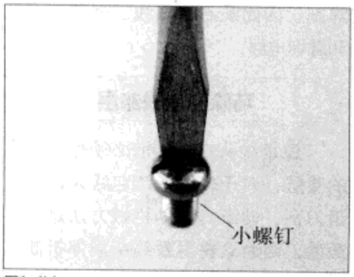


图1（b）

让普通镊子自动闭夹

用普通镊子夹持元器件引脚、小螺丝帽等时不能松手，否则被夹持物便会掉落。剪一段长度为1.5cm左右、内径比镊子尾部外围稍小一些的软塑料管，把它紧套在镊子尾部，如图2所示，在夹住元器件引脚（如焊接时帮助散热）等时，只要将塑料管朝镊子前端推紧，引脚便被紧固在镊子之中，而把塑料管往后一推，引脚便与镊子脱离。这种能够自动闭夹的镊子，可以腾出拿镊子的手，便于干别的事。而平时塑料管推在镊子的尾部时，丝毫无碍于镊子的常规使用。

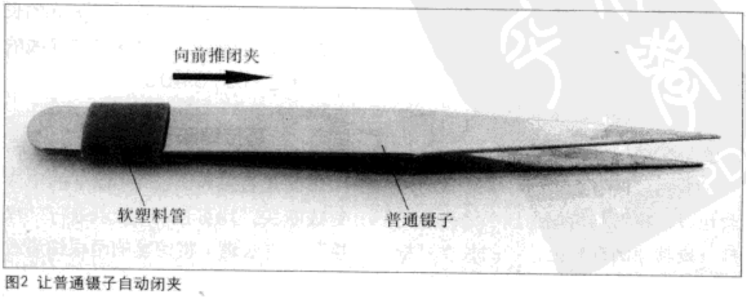


图2 让普通镊子自动闭夹

巧裁敷铜板

电子爱好者在裁取敷铜板（或有机玻璃板等）时，大可不必用手钢锯裁取，用一把钢板尺和一个刻刀就能搞定。具体方法如图3所示，用钢板尺在敷铜板上定位、用刻刀的刀尖反复拉划裁取线，拉出比较深的一道沟槽，然后，在敷铜板的另一面正对着刚拉的沟槽拉出一道同样的沟槽，最后，两手分别紧握沟槽线两边的敷铜板，朝外用力掰敷铜板，即轻松地沿沟槽将敷铜板一分为二。

巧用小钻头开大孔

有时需要在印制电路板或机壳上开出比电钻钻头大许多的安装孔，怎么办？可先按照图4（a）所示，在欲开孔位置用铅笔画出开孔形状，然后，按照图4（b）所示，用电钻（或手摇钻）沿画线内侧钻一连串小孔，并按照图4（c）所示，用刀子把小孔与小孔之间的相连部分刻断，最后，按照图4（d）所示，用小钢锉锉平凸出部分，使开口与画线刚好重叠，大孔即告开成。

在钻孔时注意，电钻的钻头应尽可能选最粗的钻头。如果要在金属板上开大孔，同样可用手电钻钻出大孔内侧的小孔，然后用凿子凿下小孔与小孔之间的相连部分，最后用小钢锉

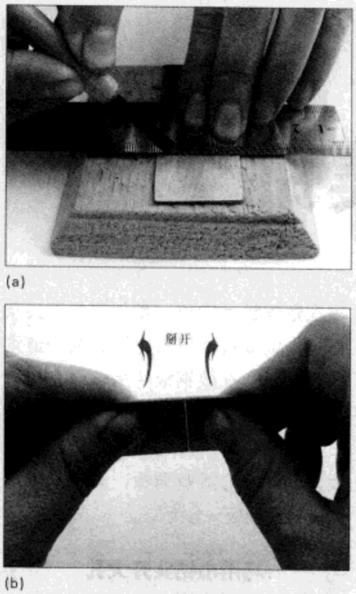


图3 用刻刀裁敷铜板

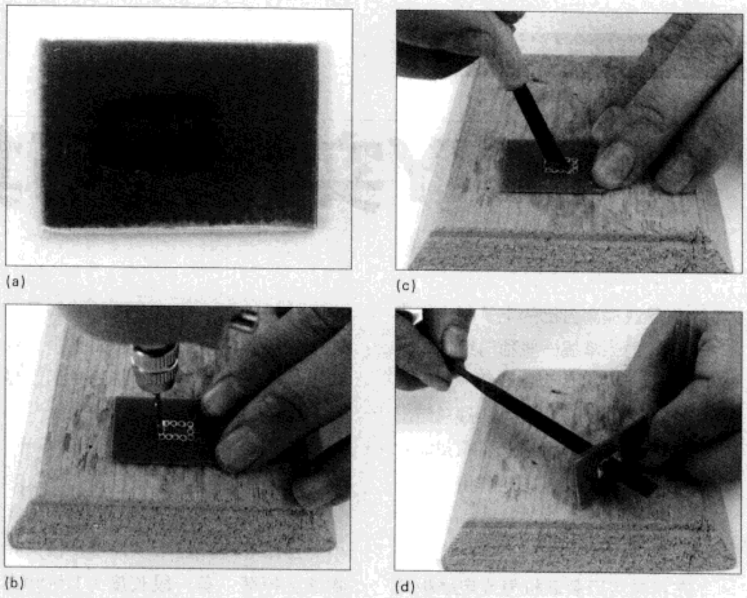


图4 巧用小钻头开大孔

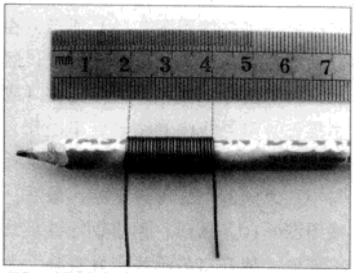


图5 巧测漆包钱直径

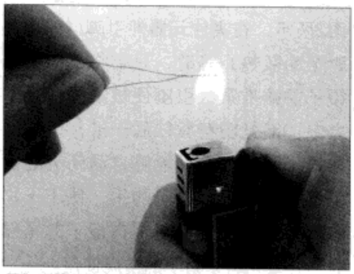


图6 巧接细漆包线断头

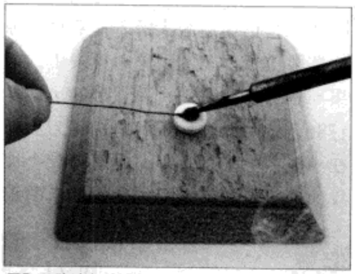


图7 巧除漆包线漆层

锉修即可。

巧测漆包线直径

电子爱好者常常要用粗细合适的漆包线来绕制线圈和变压器等电感元件。而漆包线的规格很多，粗的有铅笔芯那样粗，细的则比头发丝还要细呢！假如要利用手头已有的漆包线，但又不知道它的直径是多少，该怎么办呢？这里就向读者介绍一种简便实用的测算方法。

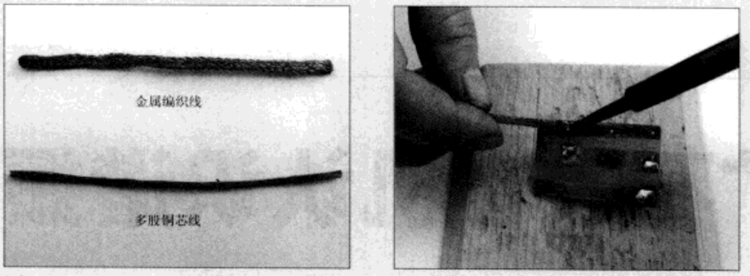
首先，按照图5所示，取一段待测漆包线，将它均匀紧密地平绕在铅笔杆（或其他圆杆）上，绕的长度可根据线径的粗细而定。一般细漆包线可取10～20mm，粗漆包线可取20mm以上。当漆包线绕到指定的长度时，就数一数一共绕了多少圈，然后用公式“绕制长度÷圈数=线径（mm）”计算，就能得出漆包线的直径是多少。例如某一直径的漆包线，在20mm的长度内共绕了39圈，那么这种漆包线的直径就是：20÷39≈0.51mm。

巧接细漆包线断头

凡是直径为0.12mm以下的细漆包线断头，均可按图6所示进行“焊接”。方法是：将待接的两根细漆线（或纱包线）线头，绞合拧紧10mm左右，然后点燃打火机或擦燃一根火柴，对准绞合线头的下方烧一下，线头就会立即熔化成一个小圆点而焊接好了。用这种方法接细漆包线断头，无需除漆皮（或纱层），也不用涂助焊剂，因此既不怕伤线，又不怕腐蚀和霉坏电线。

巧除漆包线漆层

漆包线头在焊接前必须除去上面的漆层，对于较细的漆包线来说，采用刀刮、砂纸打磨的机械方法是行不通的，因为这将导致线头局部折断或



(a) (b)

图8 巧用“吸锡绳”解焊

图9 各种市售门铃外壳

去漆不彻底。笔者采用加热的阿司匹林药片（或聚氯乙烯）去漆，效果非常理想。方法如图7所示，把漆包线头放在阿司匹林药片上，然后用带有熔锡的热烙铁头沿导线来回游动几次，同时旋转漆包线，很快漆层被除掉，同时线头还被镀上了一层焊锡。

巧用“吸锡绳”解焊

电子制作时，为了纠正元器件的错焊，或为了更换损坏的元器件，都需要将焊接在印制电路板上的元器件从原来的位置上拆卸下来，这叫做解焊或拆焊。解焊时应一边用电烙铁加热焊点使焊锡熔化，一边应用吸锡器等专用工具吸走焊锡，这样才能利用镊子或尖嘴钳将元器件从安装孔中快速、顺利地取出，确保不损伤元器件和电路板。解焊专用的吸锡器或吸锡电烙铁等，价格都比较贵，初学者一般都不配备。这时，可将印制电路板倾斜，使熔化的焊锡流向烙铁头，利用烙铁头带走焊锡。但这种方法在解焊集成电路等多脚元件时，效果并不理想，往往令人大伤脑筋。这里向读者介绍一种巧用屏蔽线或多股电线作为“吸锡绳”，进行吸锡解焊的方法（见图8）。

“吸锡绳”的获取方法：取一段屏蔽电线，剥掉塑料外皮，抽出金属编织线里面的芯线，将金属编织线在松香酒精溶液中浸一下，或用电烙铁直接在金属编织线上加热吃上松香，即获得廉价“吸锡绳”。如果手头无屏蔽电线，也可用剥掉塑料皮的多股铜芯电线来代替金属编织线，但必须把芯线拧成一股不太紧密的绳，而不至于散架。用这样的“吸锡绳”来吸锡效果简直妙极了。使用时将“吸锡绳”放在欲拆卸元器件的焊点上，如果是集成电路等多脚元器件，可放在一排焊脚上，然后将电烙铁放在“吸锡绳”上加热，当焊锡熔化后就被吸附在绳内，从而使元器件引脚与电路板顺利分离。

巧借电子门铃外壳

初学者在制作各种报警器、讯响器、语音盒等时，不妨直接借用图9所示的市售电子门铃的外壳做机壳。其方便之处在于：许多发声的小制作一般都用2~4节5号干电池（电压3~6V）供电，都要用一个8Ω、0.25W的小口径动圈式扬声器。而市售的各种普通电子门铃，几乎都用5号干电池供电，8Ω、0.25W的小口径动圈式扬声器更是少不了。所以读者要是看上了商店里销售的某个电子门铃的外壳，只要工作电压与自己的小制作相符，就可毫不犹豫地只花数元钱（一般仅4~8元）来购买该电子门铃，拆除里面的电路板（腾空安装自己的电路板），保留扬声器和电池架，直接用于自己的小制作。其好处是不用另外再购买扬声器和电池架（其零售价有时与成品电子门铃售价相当），省去了在机壳为扬声器开释音孔、在机壳内固定扬声器和电池架的麻烦，而且所获得的外壳是产品级的，具有极高的性价比，这是一般自制外壳所无法达到的。

作者简介

本文作者张晓东从小就是一个“科学迷”，尤其酷爱神奇美妙的电子技术。少年时代受家庭和学校的教育，认为“科学家是最幸福、最高尚、最伟大的人”。但长大后没有机会成为一名科技工作者，却成了一名国家机关公务员，这并不能阻挡他成为一名“业余电子发烧友”。每逢节假日，“动手做”是他最大的乐趣，从收音机到各种生活用电子小装置，做得多了就有了心得、有了发明创造，有了与电子同仁交流的愿望。于是，一边不停地设计、实验、制作，一边笔耕不辍，年复一年，坚持不懈，终于圆了少年时代的梦！

近26年来，他累计在国内10余种报刊杂志发表电子制作类文章830余篇，先后荣获过“优秀作者”、“优秀通讯员”、“热心作者”等称号。部分作品参加有关报刊举办的全国性竞赛和评选活动，多次获奖。

作者的体会：“动手做”是入门的有效路径，带着问题“找书本”是自学的重要方法，“勤动脑”是发明创造的源泉。

座右铭：兴趣+专心+恒心=成功！

零起步学无线电收发

◎门宏

从矿石收音机认识谐振

天空中充满了各种不同频率的无线电波，它们有的是大自然中天然存在的，有的是人类活动中衍生出来的，有的是人们有目的地发射的。那么，我们怎样才能按照需要发射特定频率的无线电波呢？另一方面，我们怎样才能从浩瀚的电波海洋中找出欲接收的无线电波呢？解答这个问题，就不能不说一说“谐振”。

什么是谐振

我们知道，电容器具有储存电能的本领，电感器具有储存磁能的本领。如果将一个电容器C与一个电感器L连接在一起，它们便构成了一个LC回路，如图1所示。如果电容器C上已充满电能，那么它将向电感器L放电，同时电感器L将以磁能形式储存能量。C放电结束，L中的磁能又反过来向C充电。如此周而复始地在C和L之间进行电能和磁能的转换，形成自由振荡，自由振荡频率$f_0=1/2\pi\sqrt{LC}$。由于电路损耗的存在，这种自由振荡是衰减振荡，很快趋于停止，波形如图2所示。

可以采用外加电源给LC回路不断地补充能量，使自由振荡得以持续。当外加电源的频率与LC回路的固有频率相同时，即称之为“谐振”。谐振是无线电发射与接收知识中的一个重要概念。

1. 并联谐振

LC回路与外加电源信号相并联即构成并联谐振电路，如图3所示。产生并联谐振的条件是外加电源信号频率f等于LC回路固有频率f_0，即$f=1/2\pi\sqrt{LC}$，改变L或C均可改变谐振频率。

并联谐振电路的特点是：电路的阻抗最大，且为纯电阻。图4所示为并联谐振阻抗曲线，可见，$f=f_0$时阻抗最大，$f>f_0$或$f<f_0$时阻抗都很小。

并联谐振电路具有选频作用，可以组成振荡器和选频放大器。图5所示为LC振荡器，L1、C为并联谐振回路，L2为反馈线圈，振荡频率由L1与C决定。图6所示为选频放大器，LC为并联谐振回路，只有$f=f_0$的信号被放大。

有了振荡器和选频放大器，就可以产生和放大我们需要的频率的无

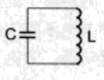


图1 LC回路

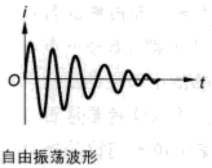


图2 自由振荡波形

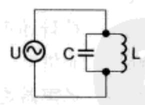


图3 并联谐振电路

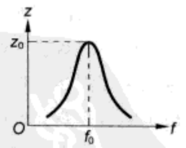


图4 并联谐振阻抗曲线

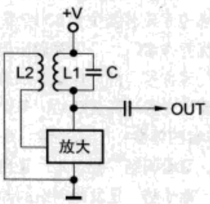


图5 LC振荡电路

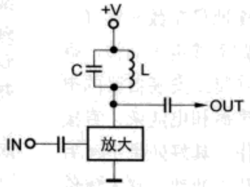


图6 选频放大器

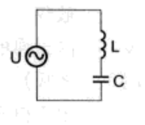


图7 串联谐振电路

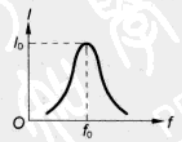


图8 串联谐振电流曲线

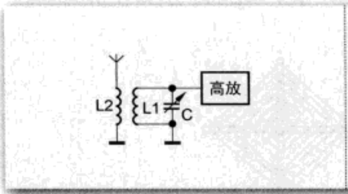


图9 收音机输入调谐回路

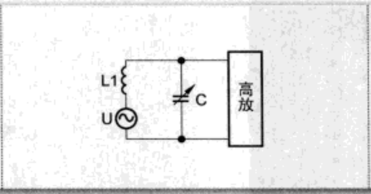


图10 图9的等效电路

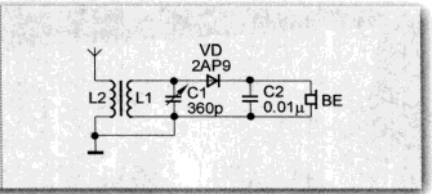


图11 矿石收音机电路图

线电波，并将它发射出去。选频放大器还应用在接收设备中，用以放大我们需要接收的频率的无线电波。

2. 串联谐振

LC回路与外加电源信号相串联即构成串联谐振电路，如图7所示。产生串联谐振的条件也是外加电源信号频率f等于LC回路固有频率f_0，即$f=1/2\pi\sqrt{LC}$，改变L或C均可改变谐振频率。

串联谐振电路的特点是：电路中的电流最大，且与外加电压同相。图8所示为串联谐振电流曲线，可见，$f=f_0$时电流最大，$f>f_0$或$f<f_0$时电流都很小。

串联谐振时，电感或电容两端的电压为外加电压的Q倍。Q为谐振电路的品质因素，一般可达100左右。因此，串联谐振电路常用作无线电接收设备的输入选频回路。

图9所示为收音机输入调谐回路，图10为其等效电路。天线接收到的无线电波通过L2耦合给L1，L1与C构成串联谐振回路，只有$f=f_0$的无线电波在回路中的电流最大，并在C两端产生一个高于接收到的信号电压Q倍的电压送往高放级，而$f\neq f_0$的无线电波在C两端产生的电压则很小。改变C即可改变谐振频率f_0，从而选择我们所需要的频率的无线电波。

做个不落伍的矿石收音机

矿石收音机是一种无电源收音机，它没有放大电路，仅由调谐回路、检波器和耳机组成，是最简单的无线电接收装置。早期采用矿石做检波器，因此称为“矿石收音机”。半导体管发明后，晶体二极管取代了矿石，但“矿石收音机”的名称延续了下来。虽然现在各种高性能收音机比比皆是，但是矿石收音机的独特魅力

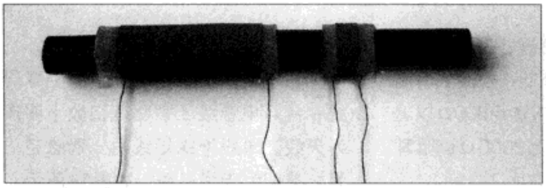


图12 绕制线圈

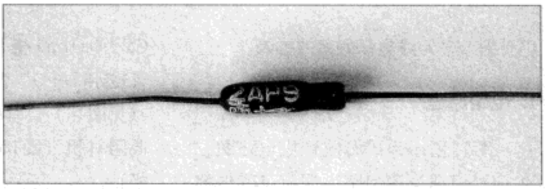


图14 晶体二极管2AP9

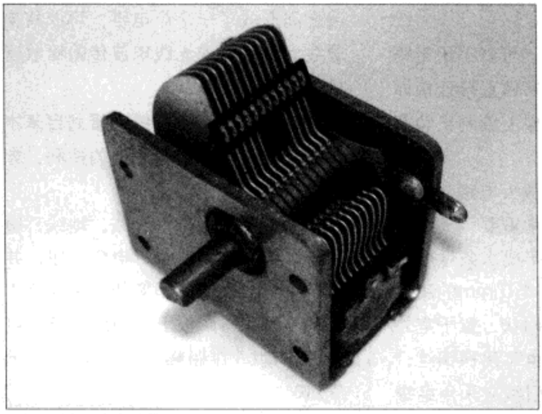


图13 单联可变电容器

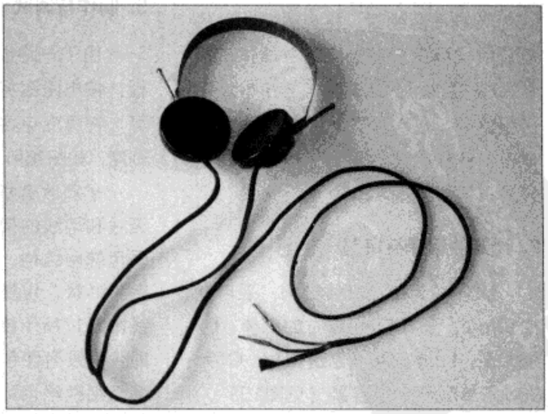


图15 2000Ω高阻耳机

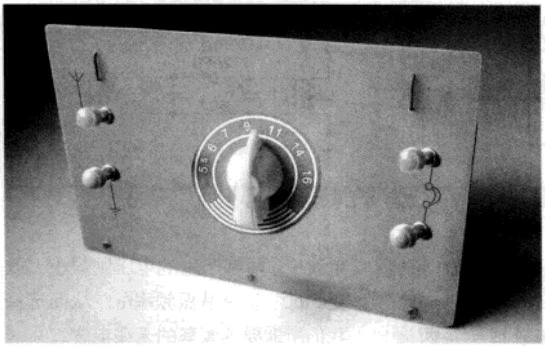


图16 在面板上绘制出频率制度

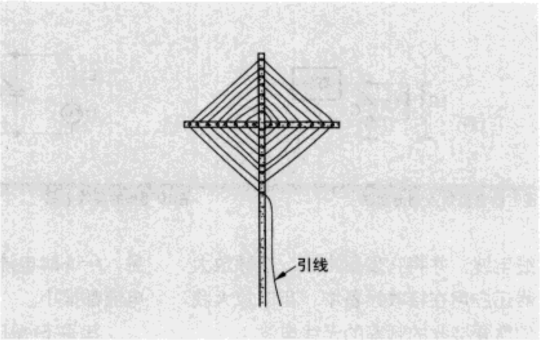


图17 蛛网结构的天线

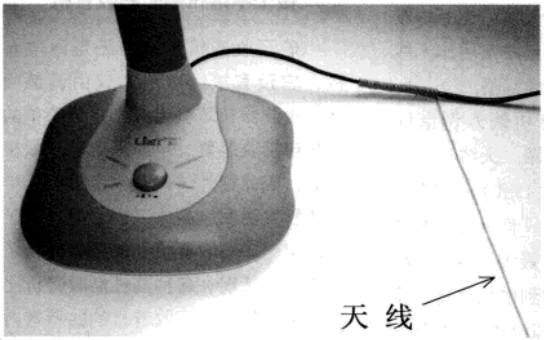


图18 天线可从台灯电源线上绕出

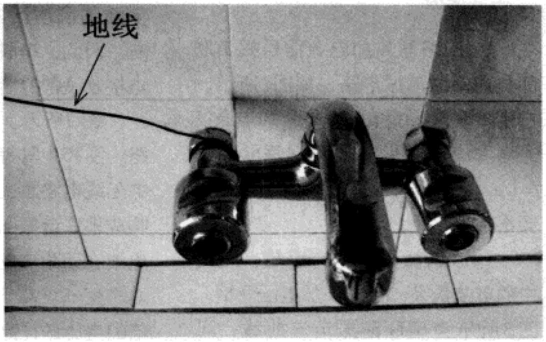


图19 地线可接到自来水管上

仍受到众多无线电爱好者的推崇。

1. 电路原理

图11所示为矿石收音机电路图。L1、C1组成调谐回路，调节可变电容器C1即可选择所欲接收的电台频率。L2为天线耦合线圈，将天线接收到的电台信号耦合至调谐回路。晶体二极管VD为检波器，从调幅信号中检波出音频信号，送入耳机发声。C2为滤波电容，滤除检波器输出信号中的高频分量。

2. 元器件选择与自制

L1、L2为磁性天线结构，采用直径10mm、长100mm左右的磁棒，L1绕60圈，L2绕12圈（见图12）。C1为360pF单联可变电容器（见图13），C2为0.01μF瓷片电容器。晶体二极管VD选用2AP9，管压降低，检波效率高（见图14）。耳机BE应选用800Ω以上高阻耳机（图15所示为2000Ω高阻耳机）。

3. 制作与调试

由于电路很简单，可以不用电路板，按电路图将各元器件直接连接即可。在可变电容器面板上绘制出频率刻度，如图16所示。

矿石收音机没有放大电路，因此天线和地线的架设非常重要。天线可采用蛛网结构，用竹竿或木条做成十字架形状，用直径1～1.5 mm的漆包线按图17所示绕成蛛网状，置于室外即可。没有漆包线时也可用裸铜丝，甚至细铁丝也可以。引线应采用绝缘导线。

更简便的方法是，用单股绝缘导线在台灯电源线上紧密缠绕数十圈作为天线。单股绝缘导线的一端悬空，另一端即为天线引线，如图18所示。其原理是缠绕的单股绝缘导线与电源线之间形成了一个小电容，可以将电源线上感应到的无线电波传输给收音机。

地线可用一根导线连接到自来水管上，利用自来水管通地的便利，如图19所示。

调试时，连接好天线、地线，缓慢旋转可变电容器收听电台广播，并调节L2与L1之间的距离使效果最好。如电台频率与面板上的刻度不符，可左右移动L1在磁棒上的位置进行调节。

零起步学无线电收发

◎门宏

从等幅波发射机认识振荡与发射

利用无线电波传递信息，具有传输距离远、传送信息量大、可以穿越大多数障碍物以及无须架设线路等特点，广泛应用于通信、广播、遥控和遥测等领域，也吸引了大批无线电爱好者投身其中。要发射无线电波，首先要产生无线电波。“振荡”电路就是按照人们的意愿产生无线电波的“机器”。

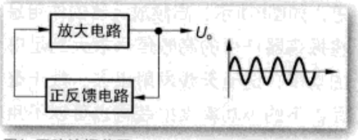


图1 正弦波振荡器

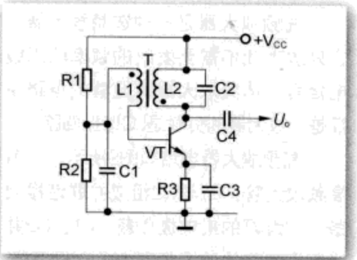


图2 变压器耦合振荡器

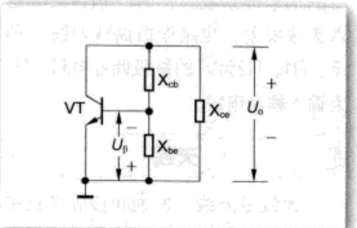


图3 三点式振荡器

高频振荡器

振荡器是一种不需要外加输入信号，而能够自己产生输出信号的电路。产生无线电载波信号的高频振荡器属于正弦波振荡器。正弦波振荡器由放大电路和反馈电路两部分组成，反馈电路将放大电路输出电压的一部分正反馈到放大电路的输入端，周而复始即形成振荡，如图1所示。

高频振荡器有变压器耦合振荡器、电感三点式振荡器、电容三点式振荡器、晶体振荡器等多种电路形式。

1. 变压器耦合振荡器

变压器耦合振荡器电路如图2所示，变压器T包括振荡线圈L2和反馈线圈L1，L2与C2组成LC并联谐振回路，作为晶体管VT的集电极负载，L1接在VT基极。VT与LC并联谐振回路构成选频放大器，只有频率$f=f_o$的信号得到放大，并经变压器T正反馈至基极，形成振荡，振荡频率$f_o=1/(2\pi\sqrt{L_2C_2})$，正弦波信号经C4耦合输出。

变压器耦合振荡器的特点是容易起振，输出电压较大，但最高振荡频率较低。

2. 电感三点式振荡器

所谓三点式振荡器，是指晶体管的3个电极直接与振荡回路的3个端点

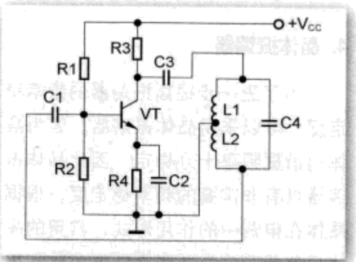


图4 电感三点式振荡器

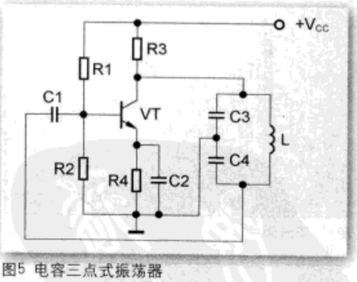


图5 电容三点式振荡器

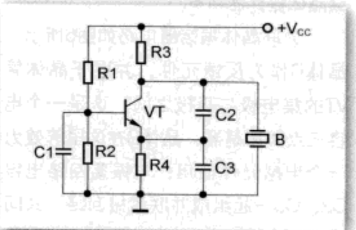


图6 并联晶体振荡器

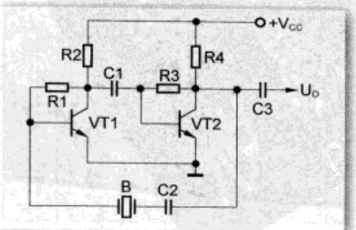


图7 串联晶体振荡器

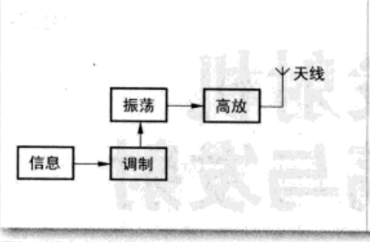


图8 无线电发射电路方框图

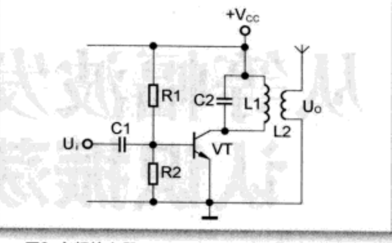


图9 高频放大器

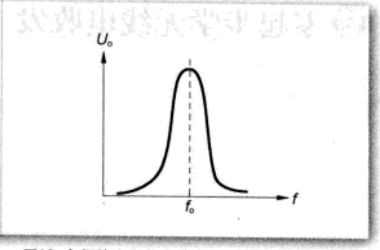


图10 高频放大器频率曲线

相连接而构成的振荡器，如图3所示。3个电抗中，X_{be}、X_{ce}必须是相同性质的电抗（同是电感或同是电容），X_{cb}则必须是与前两者相反性质的电抗，才能满足振荡的相位条件。

电感三点式振荡器电路如图4所示，L1、L2、C4为构成振荡回路的3个电抗，由于振荡回路的3个电抗中有两个是电感，所以叫做电感三点式振荡器。

电感三点式振荡器是利用自耦变压器原理将输出电压U_o反馈到输入端的，电感L1和L2可看作是一个自耦变压器，L1上的输出电压U_o通过自耦在L2上产生反馈电压$U_β$，$U_β$与U_o反相而与U_i同相，形成正反馈而使电路振荡。

电感三点式振荡器的特点是容易起振，波段频率范围较宽，但振荡输出电压波形不够好，谐波较多。

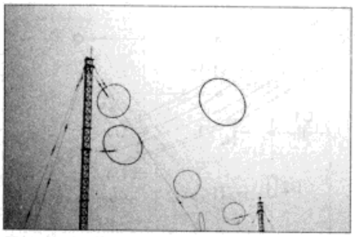


图11 笼形天线

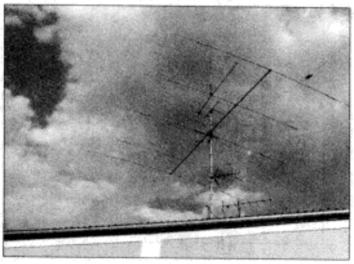


图12 八木天线

3. 电容三点式振荡器

电容三点式振荡器电路如图5所示，L、C3、C4为构成振荡回路的3个电抗，由于振荡回路的3个电抗中有两个是电容，所以叫做电容三点式振荡器。

电容三点式振荡器中，C3上的输出电压U_o同时加在L、C4支路上，由于电感上电流滞后电压90°，所以支路电流$\boldsymbol{I}$比U_o滞后90°。而$\boldsymbol{I}$流过电容C4所产生的反馈电压$U_β$又比$\boldsymbol{I}$滞后90°，即与输出电压U_o反相（相差180°）而与输入电压U_i同相，实现了正反馈，电路实现振荡。

电容三点式振荡器的特点是振荡输出电压波形好，振荡频率较稳定，但不易起振，波段频率范围较窄。

4. 晶体振荡器

为了进一步提高振荡器的频率稳定度，可以采用晶体振荡器。因为晶体的谐振频率十分稳定，因此晶体振荡器具有非常高的频率稳定度。根据晶体在电路中的作用形式，常用的晶体振荡器可分为并联晶体振荡器和串联晶体振荡器两类。

并联晶体振荡器电路如图6所示，晶体B作为反馈元件，并联于晶体管VT的集电极与基极之间。这是一个电容三点式振荡器，晶体B在这里等效为一个电感元件使用，与振荡回路电容C2、C3一起组成并联谐振回路，共同决定电路的振荡频率。

串联晶体振荡器电路如图7所示，晶体管VT1、VT2组成两级阻容耦合放大器，晶体B与C2串联后作为两级放大器的反馈网络。晶体B在这里等效为一个纯电阻使用，将VT2的集电极电压反馈到VT1的基极，构成正反馈电路。电路振荡频率由晶体的固有串联谐振频率决定。

高频放大器

无线电发射电路的组成通常包括振荡器、调制器、高频放大器和天线等，如图8所示。高频放大器的作用是将振荡器产生的高频信号放大到足够的功率，送至天线发射出去。数十毫瓦以下的小功率发射装置也可以不用高频放大器，而由高频振荡器直接通过天线发射。

高频放大器是一种选频放大器，它只放大我们需要发射的频率的无线电信号。选频放大器最显著的电路特征是，放大器的负载是LC谐振回路。

高频放大器电路如图9所示。VT为高频放大管，L1与C2组成并联谐振回路，作为VT的集电极负载。L1、C2并联谐振回路的谐振频率为f_o，只有$f=f_o$的信号得到放大，由L1耦合至L2送入天线发射，电路谐振曲线如图10所示。R1、R2为VT的基极偏置电阻。C1为输入耦合电容。

天线

天线是无线电发射和接收系统中必不可少的部分，它承担着向空间辐

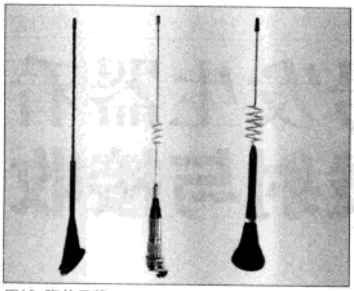


图13 鞭状天线

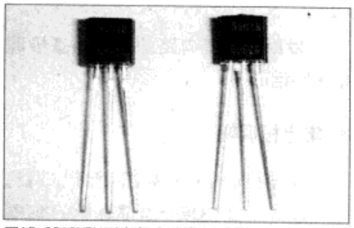


图15 9018NPN型高频小功率晶体管

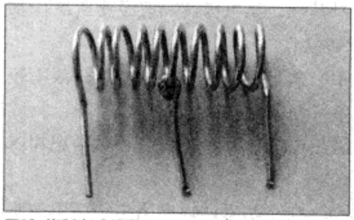


图16 绕制电感线圈

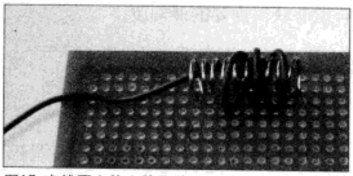


图17 在线圈上绕上软导线

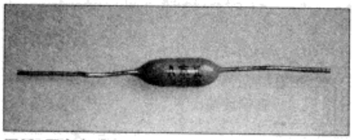


图18 固定电感

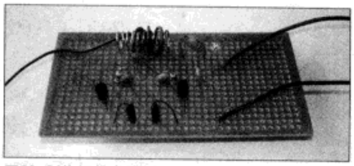


图20 制作好的电路板

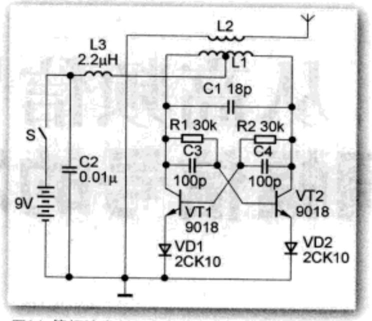


图14 等幅波发射机电路图

射无线电波或从空间接收无线电波的重任。天线的形式多种多样，常用的中、短波段天线主要有垂直天线、倒L天线、T形天线、伞形天线、笼形天线（图11）、鱼骨形天线、八木天线（图12）、鞭状天线（图13）等。

小型或业余条件下的无线电发射和接收多采用鞭状天线，例如手机、对讲机、无线电遥控器等。收音机上的拉杆天线就是一种鞭状天线，甚至一根导线也可以成为鞭状天线。当天线的长度为1/4波长时发射效率最高。在天线的根部或中部串入加感线圈可以缩短天线的长度。

等幅波发射机制作实例

等幅波发射机可以产生和发射等幅无线电波，即没有被调制的无线电载波信号，它是用各种调制方式传输无线电信号的基础，也可用作等幅无线电报实训或简易无线电遥控。

1. 电路原理

图14所示为等幅波发射机电路，它实际上就是一个高频振荡器，产生频率为40MHz的高频无线电波。

晶体管VT1、VT2及L1、C1等构成双管推挽高频振荡器，振荡频率由L1、C1谐振回路决定，电路产生的高频信号由L1耦合至L2，通过天线发射出去。L3为高频阻流圈，C2为高频旁路电容。双管推挽高频振荡器具有易

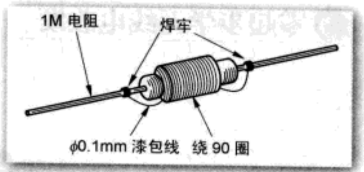


图19 L3的制作

于起振、输出功率大的特点，适合无线电爱好者制作。

2. 元器件选择与自制

VT1和VT2选用9018等NPN型高频小功率晶体管（图15），VD1和VD2选用2CK10等开关二极管。C1～C4选用高频瓷片电容器，电阻无特殊要求。

电感线圈需自行绕制。绕制L1的方法是：利用一直径5mm左右的圆棒（例如墨水笔芯）作为模具，用直径1mm的镀银线（也可用裸铜线）在模具上绕10圈，脱胎为空心线圈，并将其均匀拉长为20mm左右，然后另用一截镀银线在线圈中间（5圈处）夹紧并焊牢，作为抽头引线，如图16所示。

天线采用一段软导线，其一端接地，然后在L1上缠绕4圈作为L2，余下的拖线即为天线，如图17所示。

高频阻流圈L3选用固定电感（图18），也可自制，方法是：利用1MΩ左右电阻作为骨架，用直径0.1mm漆包线在其上密绕90圈，线圈两头分别焊牢在电阻的两引脚上即可，如图19所示。

3. 制作与调试

整机可用爱好者熟悉的“洞洞板”装制，十分方便。制作好的电路板如图20所示，左侧为天线，右侧经开关S接电源正极，黑线接电源负极。

本机安装无误一般不需要调整即可正常工作。如需调节振荡频率，可适当改变C1的大小，或增减L1的匝间距离。

用电键取代电源开关S，本机即成为一台简易的等幅无线电发报机，可作为业余无线电爱好者实训之用。

零起步学无线电收发

◎门宏

从高频信号发生器看调幅信号的发射与接收

调幅即幅度调制，是指高频载波的振幅随调制信号改变而变化的调制方式。调幅信号的频率由高频载波决定，其振幅大小则由调制信号决定。调幅信号波形如图1所示。

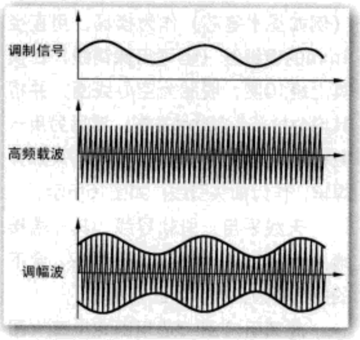


图1 调幅信号的波形

调幅信号的产生

调幅信号是如何产生的？换句话说，怎样用调制信号去调制高频载波的振幅？关键是利用非线性器件。人们正是利用二极管、三极管等非线性器件的非线性特性实现调幅的。相应的电路分别称为二极管调幅电路和三极管调幅电路。

通常应用的是晶体三极管调幅电路。从调制方式可以分为基极调幅、集电极调幅和发射极调幅。

1. 基极调幅

晶体管基极调幅电路如图2所示，高频载波（经耦合变压器T1）与调制信号（经耦合电容C1）同时加到晶体管VT的基极，在其集电极通过LC调谐回路即可获得调幅波，经变压器T2输出。

基极调幅电路的特点是要求调制信号功率较小，但集电极效率较低。

2. 发射极调幅

发射极调幅电路如图3所示，调制信号经变压器T3耦合至晶体管VT发射极，高频载波经耦合变压器T1也加至VT基极，集电极调幅波经变压器T2耦合输出。

发射极调幅电路的特点与基极调幅电路相似。

3. 集电极调幅

集电极调幅电路如图4所示，调制信号经变压器T3耦合至晶体管VT集电极，高频载波经耦合变压器T1仍加至VT基极，集电极调幅波经变压器T2耦合输出。

集电极调幅电路的特点是效率较高，但调制非线性失真较严重，一般需在电路中引入非线性补偿措施加以改进。

在小功率调幅电路中，可用调制信号直接对高频振荡管进行调制，同样能够获得需要的调幅波。

调幅信号的发射实例——高频信号发生器

高频信号发生器是典型的调幅发射装置。通过高频信号发生器的制作，可以使我们具体了解调幅信号的发射原理和电路构成。

该高频信号发生器主要技术指标是：频率范围450 ~ 1800 kHz，调制形式为调幅，调制频率800 Hz，输出方式为无线辐

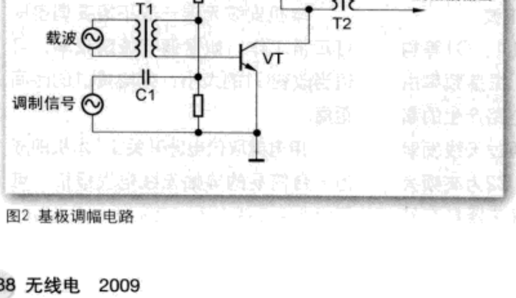


图2 基极调幅电路

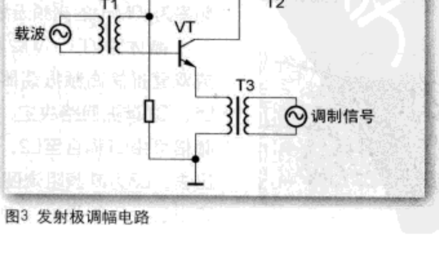


图3 发射极调幅电路

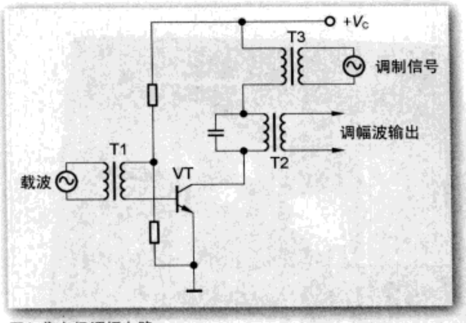


图4 集电极调幅电路

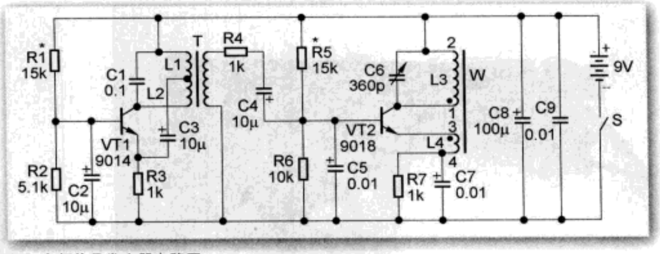


图5 高频信号发生器电路图

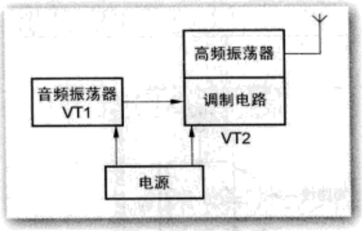


图6 高频信号发生器方框图

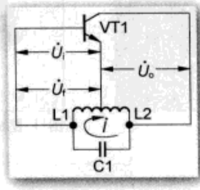


图7 音频振荡器等效电路

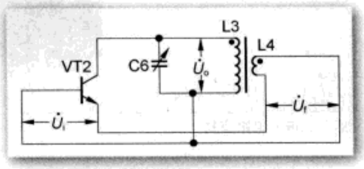


图8 高频振荡器等效电路

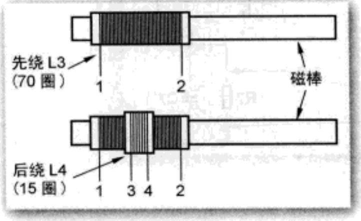


图9 绕制信号发生器磁性天线

射。该高频信号发生器电路简单、制作调试容易、工作稳定可靠、使用方便，特别适合广大爱好者自制，可以为调试、检修收音机等工作提供极大的方便。

1. 电路原理

图5是高频信号发生器电路图。电路由音频振荡器、高频振荡器、调制电路和电源电路等部分组成，如图6方框图所示。高频振荡器产生载频信号，载频频率可根据需要在450～1800 kHz范围内选择。音频振荡器产生约800Hz的音频信号，去调制高频振荡器，使载频信号的振幅随音频信号振幅的变化而变化。调幅波由天线辐射出去。

晶体管VT1与音频变压器T、电容器C1等组成音频振荡器。这是一个共基极电感三点式振荡器，具有容易起振、振荡频率较稳定的特点，其等效电路如图7所示。音频变压器T的初级线圈L1与电容器C1构成谐振回路，起到选频作用，并将输出电压U_o移相180°后反馈到输入端，使反馈电压U_f与输入电压U_i同相，实现了正反馈，电路振荡。振荡频率f由L1、C1谐振回路决定，即$f=1/2\pi\sqrt{L_1C_1}\approx 800$ Hz，振荡电压经音频变压器T的次级线圈输出。

晶体管VT2与磁性天线W、可变电容器C6等组成高频振荡器。这是一个共基极变压器耦合振荡器，其正反馈是通过反馈线圈L4来实现的，具有容易起振、输出振荡电压较大、调节频率方便的特点，其等效电路如图8所示。在高频振荡管VT2集电极接有L3与C6构成的谐振回路，决定了振荡器的振荡频率。L3与L4同绕于一根磁棒上，形成变压器耦合。L4将输出电压U_o反相后输入晶体管VT2的基极，反馈电压U_f与输入电压U_i同相，电路振荡。L3、L4同时构成磁性天线，直接向外辐射输出。

变压器T次级线圈输出的音频信号经C4耦合至VT2基极，与其基极偏置电压迭加，使其集电极电流随之变化，最终结果是VT2产生的高频振荡信号幅度随音频信号而变化，实现了调幅。

2. 元器件选用与制作

音频变压器T选用晶体管收音机的推挽输入变压器，将原次级（3条引线）作为初级，原初级（2条引线）作为次级。为缩小体积，电源采用9V层叠电池。

磁性天线需自行绕制。如图9所示，选用一根直径10mm、长100mm左右的磁棒，用牛皮纸在磁棒上做一个可以来回滑动的骨架，用多股纱包线（也可用漆包线）在骨架上密绕70圈作为L3，开头为“1”端，结尾为“2”端。在L3上缠一层牛皮纸，用相同的纱包线或漆包线在其上按同方向密绕15圈作为L4，开头为“3”端，结尾为“4”端。

安装完成的电路板如图10所示，整机结构可参考图11。

3. 调试

第一步，调整静态工作点。调节R5，使R7上电压降为0.5V。调节R1，使R3上电压降为1V。

图10 完成的电路实物

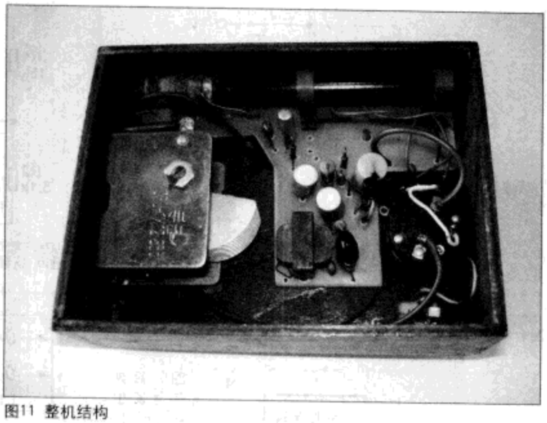


图11 整机结构

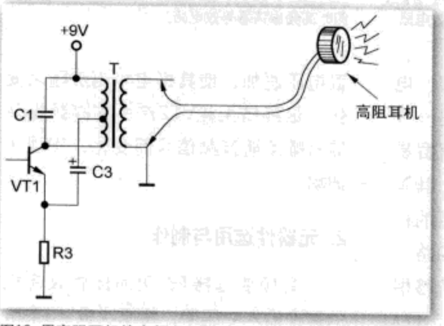


图12 用高阻耳机接音频变压器

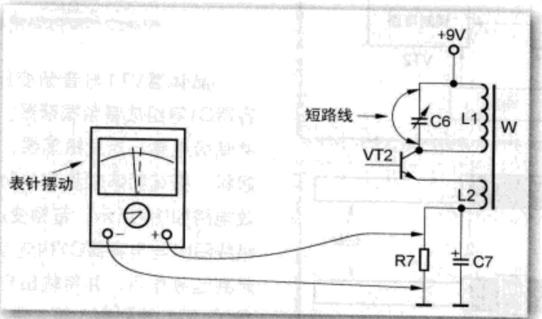


图13 检测高频振荡器

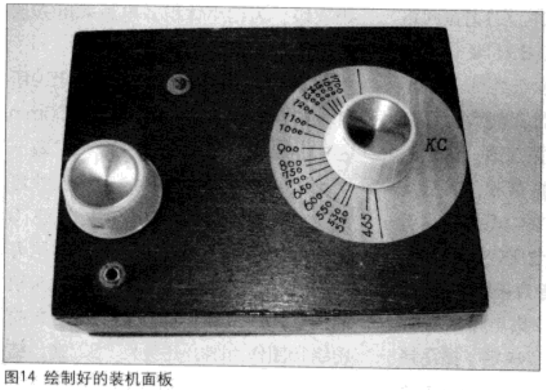


图14 绘制好的装机面板

第二步，检测电路是否起振。如图12所示，用高阻耳机接到音频变压器T的次级，应能听到“嘟——”的声音，说明音频振荡器已起振。如图13所示，用万用表测量R7上的电压，当短路可变电容器C6时，万用表表针应有摆动，说明高频振荡器已起振。如电路未起振，应重点检查音频变压器T或磁性天线W的引线是否搞错。

第三步，校准频率覆盖范围。可用标准频率计来校准，转动可变电容器C6，振荡频率应能覆盖450~1800kHz。如低端频率偏高，可将磁性天线线圈向磁棒中间移动。如高端频率偏低，则将天线线圈向磁棒顶端移动。

如无频率计，可用一台频率刻度准确的超外差中波收音机，打开电源，调谐旋钮调到1600kHz附近，放在信号发生器旁边接收信号。将信号发生器的C6旋出3° ~ 5° ，来回移动天线线圈在磁棒上的位置，直至收音机中发出清晰的800Hz的“嘟——”声。这时转动收音机的调谐旋钮，收到的“嘟——”声应不变，说明465kHz中频已校准。收音机在930kHz处应能收到中频的二次谐波。如此调整后，信号发生器即已能覆盖450 ~ 1800 kHz频率范围。将各频率点标注出来，再绘制成正式的频率刻度。整机面板如图14所示。

调幅信号的接收实例
——调幅收音机

通常的中、短波收音机是最典型的调幅信号接收设备。自己动手组装收音机，几乎是所有无线电爱好者乐此不疲的课题。通过收音机的制作，我们便可对调幅信号的接收原理和电

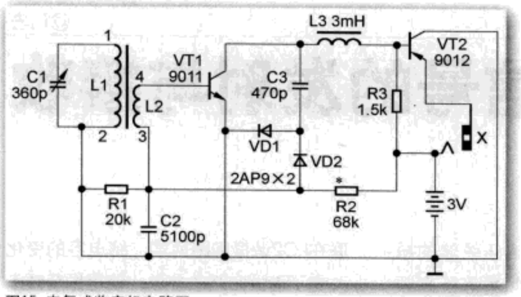


图15 来复式收音机电路图

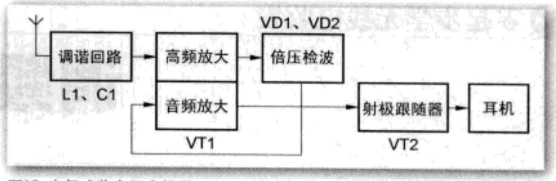


图16 来复式收音机方框图

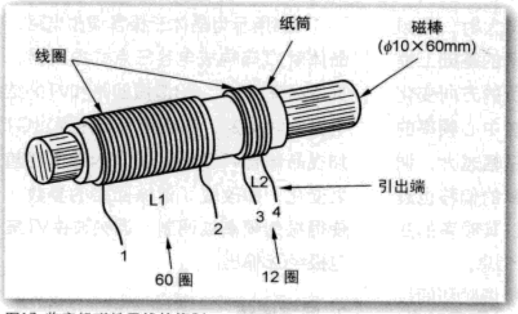


图17 收音机磁性天线的绕制

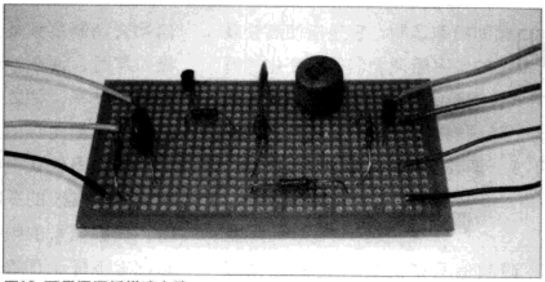


图18 可用洞洞板搭建电路

路构成有一个直观和具体的了解。

图15所示为来复式收音机电路图，可以接收535～1605 kHz的中波调幅广播，电路结构简单、制作调试容易、工作稳定可靠，非常适合初学者练习组装。

1. 电路原理

这是一种直接放大式收音机。晶体管VT1采用来复式电路结构，既是高频放大管，又是音频放大管。晶体管VT2构成射极跟随器，起阻抗转换与匹配作用。可变电容器C1与L1组成调谐回路，转动C1即可调台。

整机电路由调谐回路、高频放大、倍压检波、音频放大和射极跟随器等部分组成，图16所示为电路工作原理方框图。无线电调幅信号由L1、C1调谐回路选择接收后，进入晶体管VT1进行高频放大。放大后的高频信号送入二极管VD1、VD2进行倍压检波，检波后得到的音频信号再次进入VT1进行音频放大，然后经VT2射极跟随器驱动耳机发声。

高频阻流圈L3和电容C3完成高频信号与音频信号的分流。由于高频阻流圈L3对高频信号阻抗很大，因此VT1集电极输出的高频信号只能经C3至倍压检波电路进行检波。而VT1集电极输出的音频信号则可经L3至VT2基极。

2. 制作与调试

收音机磁性天线需自己动手制作。选取一根直径10mm、长60mm左右的圆形中波磁棒，用牛皮纸在磁棒上裹两圈形成一个圆桶状骨架。用多股纱包漆包线在牛皮纸骨架上平绕60圈为L1，间隔几毫米后再同向绕12圈为L2，如图17所示。磁性天线的线圈应能够在磁棒上来回移动。

由于电路比较简单，可用洞洞板（万能电路板）进行装制，图18所示为采用洞洞板制作的电路板。

调试时，首先调整晶体管工作点。调节偏置电阻R2，使VT1集电极电流为1.2mA即可。

其次校准频率刻度。可用前面自制的高频信号发生器做信号源，转动收音机可变电容器收听高频信号发生器的信号，比较自制收音机与高频信号发生器调谐旋钮旋出的角度，并通过左右移动收音机磁性天线线圈在磁棒上的相对位置来校准。如收音机频率指示偏高，应将其天线线圈向磁棒的顶端移动。如收音机频率指示偏低，应将其天线线圈向磁棒的中间移动。

作者简介

门宏，教授，研究员级高级工程师，长期从事电子、通信与自动控制技术专业的科研、工程、管理和教学工作。自20世纪80年代起，即成为《无线电》杂志的“金牌”作者，为读者撰写了大量电子科普文章，并正式出版专著10多部，主编出版高职高专规划教材2部，获得国家专利4项，主持完成科研课题2项。有2部专著先后获市优秀科技著作一等奖和三等奖，多次获得省、市政府的嘉奖表彰。

零起步学无线电收发

◎门宏

调频信号的发射与接收

调频即频率调制，它是指使高频载波的频率随调制信号而变化的调制方式。调频信号的频率在高频载波的基础上随调制信号而变化，但其振幅保持不变。调频信号波形如图1所示。

调频信号的产生

调制信号是怎样去调制高频载波的频率的？即调频信号是如何产生的？这里的关键是半导体变容器件。人们正是利用变容二极管，或晶体三极管结电容的变容特性，实现调频的目的。

调频信号的频率与调制信号的振幅有关。例如用一正弦波作为调制信号去调制高频载波，当正弦波的振幅为零时，调频信号的频率等于高频载波的频率，称之为中心频率。当正弦波的振幅向正的方向增大时，调频信号的频率就在中心频率的基础上提高。当正弦波的振幅向负的方向变化时，调频信号的频率就在中心频率的基础上下降。正弦波的振幅越大，调频信号的频率离中心频率的偏移也越大。调频信号就是这样以其频率的变化传递着调制信号的特征信息。

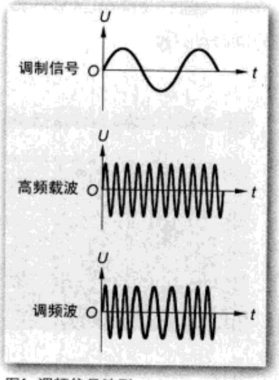


图1 调频信号波形

调频方式可分为直接调频和间接调频两类。

1. 直接调频

直接调频是最常用的调频方式，就是用调制信号直接去控制高频振荡器的谐振回路参数，使高频载波的振荡频率受到调制，如图2所示。

图2 直接调频原理

图3所示为变容二极管调频电路，晶体管VT等构成电容三点式振荡器，振荡频率由L、C2谐振回路决定。调制信号电压通过R1加在变容二极管VD上，使VD的PN结电容随之变化。由于VD并联在LC2谐振回路两端，结电容的变化改变了谐振回路的参数，使得振荡频率被调制，调频波由L抽头经C4输出。

图4所示为晶体三极管调频电路，晶体管VT等构成电容三点式振荡器，振荡频率由L1、C3谐振回路和VT的结电容共同决定。调制信号电压通过C1加在晶体管VT基极，使VT的结电容随之变化，即改变了谐振回路的参数，使得振荡频率被调制，调频波由VT集电极经C6输出。

2. 间接调频

间接调频是用积分电路对调制信号进行积分，再用积分信号对调相器进行调相，从调相器输出的就是所需的调频信号，如图5所示。间接调频电路较复杂，频移也小，但具有载波频率稳定的优点，主要应用于对频率稳定度要求较高的场合。

调频信号的发射实例 ——调频无线话筒

调频无线话筒是典型的调频信号发射电路。本实例采用双管推挽式发射电路，发射频率在88 ～108MHz的调频广播波段，用调频收音机即可接收。

1. 电路原理

图6所示为双管调频无线话筒的电路图。电路包括音频转换放大和高频振荡调制两部分。驻极体话筒BM等构成音频转换和放大电

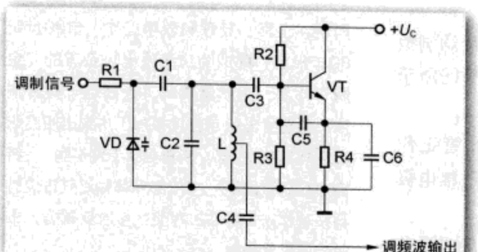


图3 变容二极管调频电路

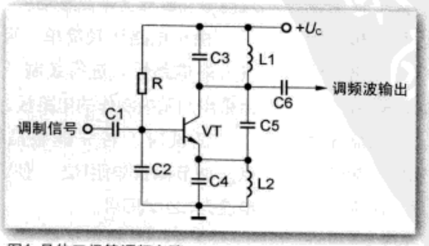


图4 晶体三极管调频电路

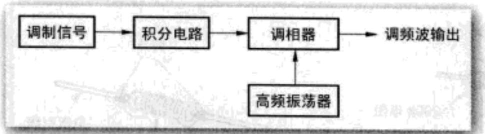


图5 间接调频原理

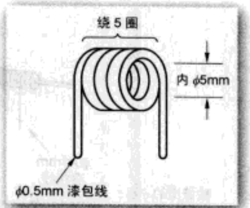


图7 绕制电感线圈L

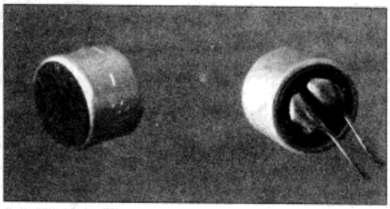


图8 驻极体话筒

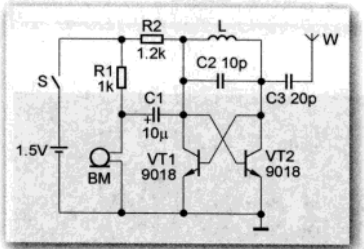


图6 调频无线话筒电路图

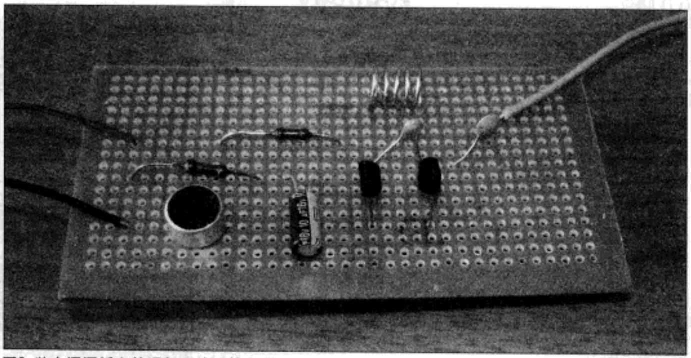


图9 装在洞洞板上的调频无线话筒电路

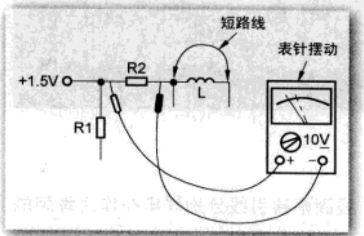


图10 检测电路是否起振

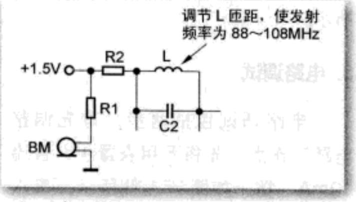


图11 调整发射频率

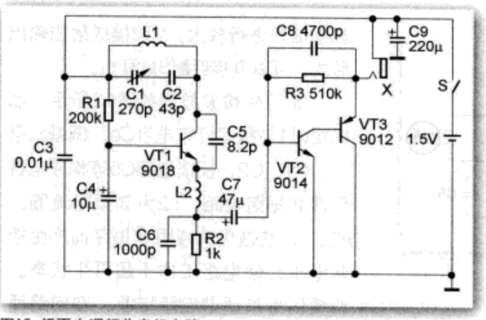


图12 超再生调频收音机电路

路，放大后的音频信号经C1耦合至高频振荡电路。

两个晶体管VT1、VT2的集电极与基极互相交叉连接，并与L、C2谐振回路等组成高频振荡器，振荡频率由晶体管的结电容与L、C2谐振回路共同决定。经C1耦合过来的音频信号对高频振荡信号进行频率调制，调制后的调频信号经C3耦合至天线辐射出去。

2. 元器件选用与制作

谐振回路电感L可自行绕制，如图7所示，用直径0.5mm漆包线在直径5mm左右的骨架上绕制5圈，抽去骨架成为空心线圈，并适当拉长即可。

在驻极体话筒底部的两个引出接点上分别焊上一截粗铜丝作为引出线兼支架，如图8所示，以便接入电路板。天线可用一截30～50cm长的软导线。

整个电路安装在一块洞洞板上，如图9所示。

3. 电路调试

调试时，首先检测电路是否起振。如图10所示，将万用表置“直流10V”挡，去测量电阻R2上的压降。这时如用一短路线将谐振回路线圈L短路，万用表表针应有明显摆动，说明电路已起振。

第二步调整发射频率。如图11所示，增大或减小振荡线圈L的匝间距离，使调频收音机能在无广播电台处接收到无线话筒的信号即可。

调频信号的接收实例——调频收音机

调频收音机是典型的调频信号接收电路。超再生调频收音机具有灵敏度高、电路简单、制作调试容易的特点，可以接收88 ~ 108 MHz的调频电台广播，还可以接收在此频率范围内（例如：5频道）的电视伴音。

1. 电路原理

超再生调频收音机电路如图12所

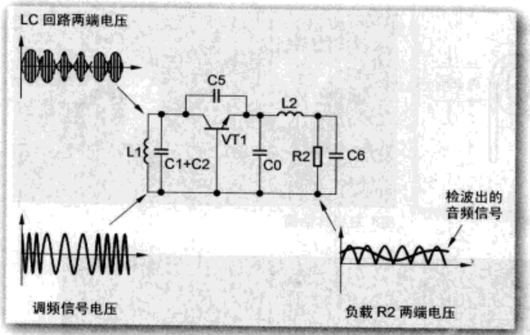


图13 超再生检波原理

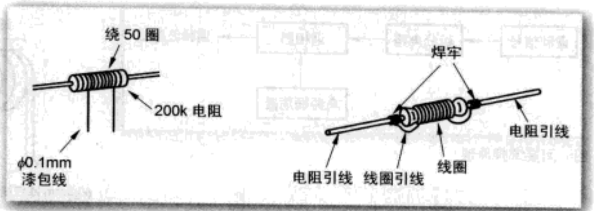


图15 绕制变频阻流圈L2

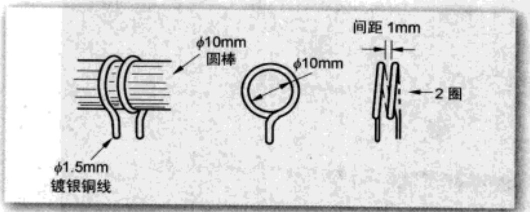


图14 绕制回路线圈L1

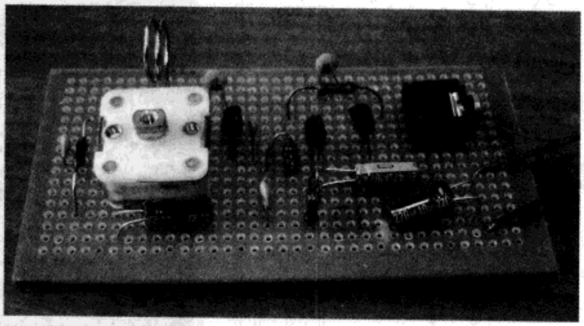


图16 超再生调频收音机电路板

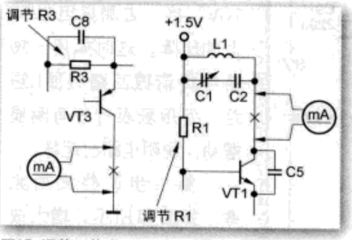


图17 调整工作点

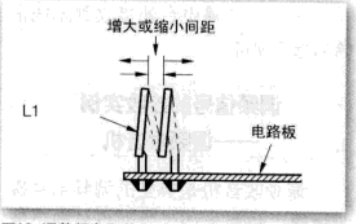


图18 调整频率覆盖

示。电路左半部分为超高频晶体管VT1等组成的超再生检波器，将调频信号变为调幅信号，并检波得到音频信号。电路右半部分为晶体管VT2、VT3等组成的音频放大器，对超再生检波器输出的音频信号进行放大。VT3接成射极输出形式，可以直接匹配8Ω耳机。

超再生检波原理如图13所示。晶体管VT1与极间分布电容Co、调谐回路L1、C1、C2、反馈电容C5等构成电容反馈式振荡电路。L2为高频阻流圈。R2、C6在这里构成阻塞振荡而产生控制电压，使电路工作于超再生状态。调频信号被调谐回路接收，在回路两端形成与调频信号相对应的电压，经VT1检波后，在R2上得到音频信号。

2. 元器件选用与制作

调谐回路线圈L1自制方法如图14所示，用直径1.5mm的镀银铜线（如无镀银线，普通单股铜丝也可，只是效果稍差些），在直径10mm的圆棒上间绕2圈，匝间间距1mm，脱胎成为空心线圈。

高频阻流圈L2自制方法如图15所示，用直径0 .1mm左右的高强度漆包线，在一200kΩ的电阻上密绕50圈，线圈两端引线分别焊牢在作为骨架的电阻两端引线上。

采用洞洞板组装的电路板如图16所示。

3. 电路调试

电路调试包括两步，首先调整电路工作点。先将万用表置于“直流10mA”挡，如图17左侧所示，串入VT3集电极电路，调节R3使VT3集电极电流为10mA左右。再将万用表如图17右侧所示，串入VT1集电极电路，调节R1使VT1集电极电流为1.8mA左右。这时，转动可变电容器C1，应能听到“丝丝”的水流声，说明VT1已起振，电路工作正常。如电路未起振，可重新调节R1使其起振。

接着调整频率覆盖。转动可变电容器C1，应能接收88～108 MHz的调频信号。如果频率覆盖偏高或偏低，可如图18所示适当增大或减小L1的匝间间距，直至符合要求为止。

零起步学无线电收发

◎门宏

数字信号的发射与接收

数字信号具有抗干扰能力强、无噪声积累、可实现长距离高质量传输的优点。除频分多路（FDMA）外，还可以通过时分多路（TDMA）和码分多路（CDMA），实现无线电频率资源的充分利用。

数字信号的特点

数字信号是一种在时间上和幅度上都不连续的离散信号，如图1所示。我们通常所说的数字信号是指二值数字信号，它只有“1”和“0”两个状态，称之为二进制数字信号。

数字信号可以用任何二值物理量予以表示。例如无线电载频的有无，频率的高低，相位的0°与180°等，都可以代表“1”和“0”。

数字信号可以采用不同的编码传递不同的信息，并且可以十分方便地通过计算机进行信息处理。数字信号的这些特点，使得其在无线电通信、遥控遥测、信息处理等方面得到越来越广泛的应用。

数字信号的调制方式

通过无线电传输数字信号，需要根据数字信号的特点采用合适的调制方式。调幅、调频和调相是数字信号的主要调制方法。

1. 调幅

数字信号的调幅即幅移键控调制（ASK），用无线电载波振幅的高低来表示二进制数字信号，发射和接收的是振幅被数字调制的无线电载波信号，波形如图2所示。

2. 调频

数字信号的调频即频移键控调制（FSK），用无线电载波频率的高低来表示二进制数字信号，发射和接收的是频率被数字调制的无线电载波信号，波形如图3所示。

3. 调相

数字信号的调相即相移键控调制（PSK），用无线电载波相位的变化来表示二进制数字信号，发射和接收的是相位被数字调制的无线电载波信号，波形如图4所示。

数字信号发射与接收实例——无线电遥控器

数字式无线电遥控器是一种典型的数字信号发射与接收装置，它发射和接收的都是数字信号。由于采用了数字编码，保密性和抗干扰性都很强，遥控距离远。

1. 遥控发射电路原理

图5所示为遥控发射电路图，由控制、数字编码、调制、高频振荡与发射电路等部分组成，图6是它的方框图。

发射电路的核心是编码控制集成电路PT2262（IC1），它具有8个编码设置

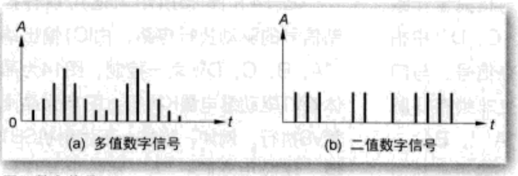


图1 数字信号

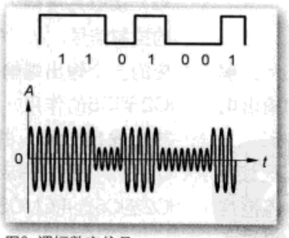


图2 调幅数字信号

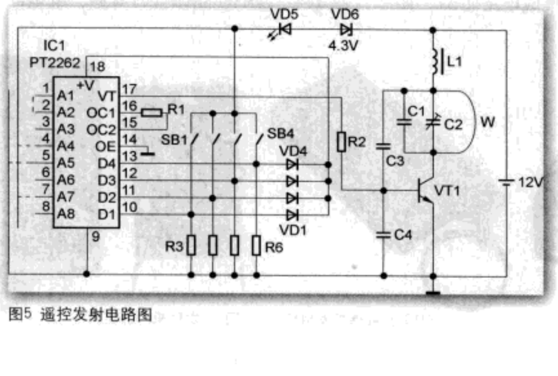


图5 遥控发射电路图

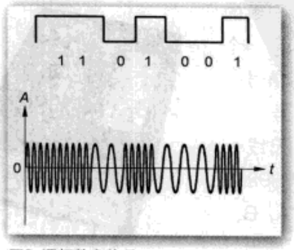


图3 调频数字信号

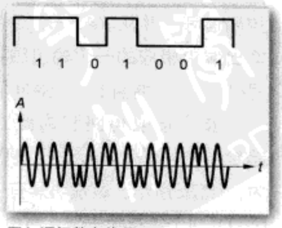


图4 调相数字信号

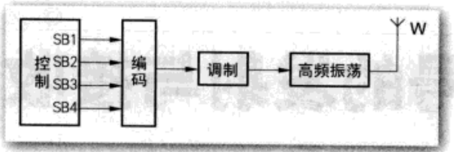


图6 遥控发射电路方框图

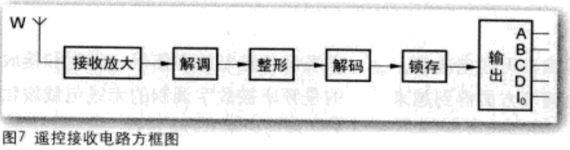


图7 遥控接收电路方框图

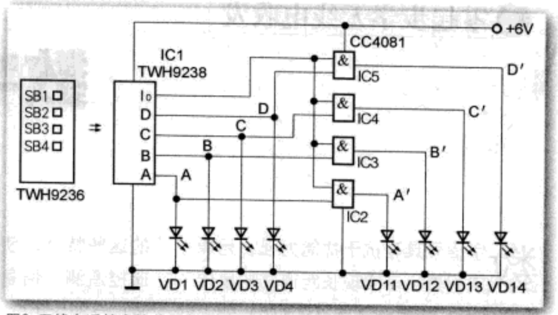


图9 无线电遥控实验装置电路图

端（A1～A8）、4个控制输入端（D1～D4）、一个编码信号输出端（VT），R1为内置振荡器的外接电阻。编码设置端为4态设定，A2～A8端可根据需要选择接电源正极、接地、接A1端或悬空，编码方式可达数万种。

SB1～SB4为控制按键，代表“A、B、C、D”4个控制信号。当某一按键被按下时，TWH9236输出端便输出代表该按键信息的数字编码信号，并通过R2去调制高频振荡器。

晶体管VT1等组成高频振荡器，振荡频率约300MHz，调节C2可以微调振荡频率。数字编码信号经R2至VT1基极，对高频振荡器进行调制。数字调制后的高频信号通过天线W发射出去。

2. 遥控接收电路原理

遥控接收电路由接收放大、解调、整形、数字解码、锁存和输出电路等部分组成，如图7方框图所示。

接收电路工作过程是，当天线W接收到发射电路发出的无线电遥控信号，经放大、解调、整形、解码后，得到与发射电路按键指令完全一致的控制信号，并从“A、B、C、D”4个输出端中相应的一个输出锁存信号，同时从“I_0”端输出一个脉冲信号。

整个接收电路和内藏式天线一起封装在一个接收解码模块TWH9238内，如图8所示。该模块具有“A、B、C、D”4个锁存输出端，高电平输出。具有一个非锁存输出端“I_0”，正脉冲输出。还有“+”、“−”电源连接端，接上6V电源即可工作。模块内设有保护电路，使用方便可靠。

3. 无线电遥控实验装置制作

无线电遥控实验装置电路如图9所示，由发射和接收两部分电路组成，控制距离可达50～100m。

发射部分采用微型无线遥控发射机成品，型号为TWH9236，发射机上有4个按键，如图10所示。该发射机电路与图5相同，内部结构如图11所示。

接收电路采用了与发射机编码相配对的接收解码模块TWH9238（IC1），将发射机发出的编码遥控信号，接收并解码为与发射机完全一致的控制信号，从“A、B、C、D”中相应的一个输出端输出锁存信号。与门IC2至IC5的作用，是产生非锁存（脉冲）输出信号，并从“A′、B′、C′、D′”中相应的一个输出。与门IC2至IC5选用CMOS集成电路4081，如图12所示。

发光二极管VD1～VD4用于指示锁存输出状态，VD11～VD14用于指示非锁存输出状态。例如，当按下发射机SB1键时，接收电路的VD1和VD11点亮，松开发射机SB1键后，接收电路的VD1仍保持点亮而VD11熄灭。

由于采用无线电发射机成品和接收解码模块，制作容易，无需调试。用“洞洞板”装制的无线电遥控接收电路如图13所示。

4. 无线电遥控驱动执行电路

图9所示无线电遥控实验装置电路，如将发光二极管换为驱动执行电路，就成了实用的无线电遥控装置。

图14和图15所示为适用锁存控制信号的驱动执行电路，由IC1输出端“A、B、C、D”之一控制。图14为晶体管VT驱动继电器K执行，图15为晶闸管VS执行。例如，当按一下发射机SB1键，接收电路IC1“A”端输出并保持高电平，经R使晶体管VT导通，继电器

图8 接收解码模块

图10 无线遥控发射机

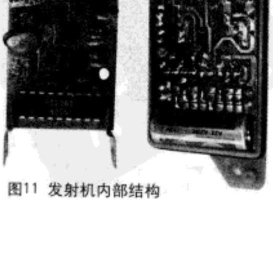


图11 发射机内部结构

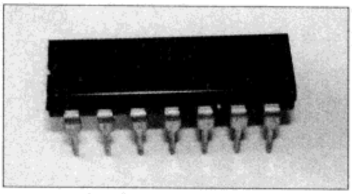


图12 CMOS与门集成电路

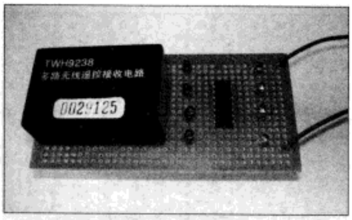


图13 用洞洞板装制的接收电路

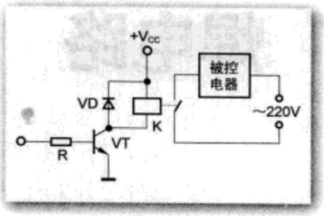


图14 驱动执行电路之一

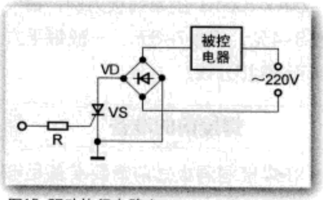


图15 驱动执行电路之二

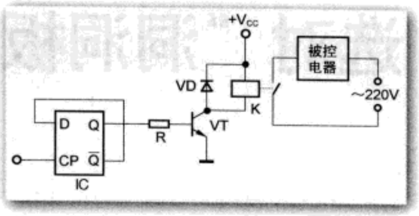


图16 双稳态式驱动执行电路之一

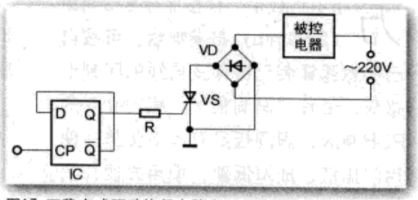


图17 双稳态式驱动执行电路之二

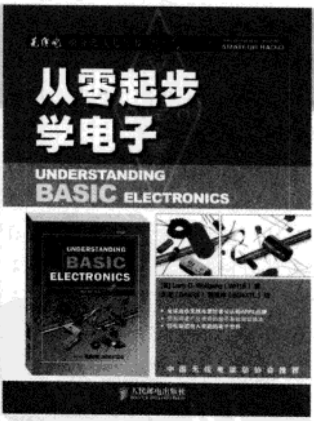
K吸合（或晶闸管VS导通），被控电器工作。直至SB1键以外的按键被按下，“A”端输出变为低电平，继电器K释放（或晶闸管VS截止），被控电器才停止工作。

图16和图17所示为适用脉冲（非锁存）控制信号的驱动执行电路，由D1至D4输出端“A′、B′、C′、D′”之一控制。图16为晶体管VT驱动继电器K执行，图17为晶闸管VS执行。它们实际上就是在图14和图15电路之前增加了一个双稳态触发器IC。例如，当按一下发射机SB1键，接收电路输出一正脉冲加至触发器的CP端使其翻转，其Q端为高电平使继电器K吸合（或晶闸管VS导通），被控电器工作。再按一下发射机“A”键，接收电路输出又一正脉冲使D触发器再次翻转，其Q端变为低电平，继电器K释放（或晶闸管VS截止），被控电器停止工作。

小知识

二极管的特性

——摘自《从零起步学电子》



当你把二极管以正向偏压方式连接到电路中时，会有电流经过电路。（电池正极与二极管阳极相连，二极管阴极与电源负极相连）。如果我们以反向偏压方式连接二极管，电路中将没有电流通过。

二极管的作用就像一个可变电阻器。当电压刚刚超过0V时，它的电阻可能要大于100Ω。一旦电压超过门限电压，电阻迅速减小到几欧姆。

对二极管来说有一个电流限制，就是二极管可以通过多大的电流。由于二极管内部存在一定的电阻，因此在电流经过时会产生热量，经过的电流越大，二极管将会变的越热。如果二极管过热，二极管将被损坏。制造商使用不同的参数值来描述二极管处理电流的能力。

平均正向电流是二极管允许通过的最大电流。在有些条件下，可能会有更大的电流脉冲经过二极管，但是这只能持续极其短暂的时间。如果经过二极管的电流超过了平均正向电流参数，二极管有可能被损坏。

在把二极管应用到具体的电路中时，你必须要知道二极管的平均正向电流值。有些二极管只能处理最大值为100mA的平均正向电流，而有些二极管可以轻松地处理10A甚至更大的电流。一般而言，所能处理电流越大，二极管的体积也就越大。半导体材料的体积和表面积较大时，二极管的散热能力也越强。

在制作二极管时，制造商会在一端的引线做个螺栓。通过这条导线，二极管可以固定在块头较大的金属或散热片上。散热片可以把二极管上的热量散发出去，这样你可以让较大的电流通过二极管。

选对“洞洞板”焊电路

◎江肖

万用电路板是一种按照标准IC间距（2.54mm）布满焊盘、可按自己的意愿插装元器件及连线的印制电路板，俗称“洞洞板”。相比专业的PCB制版，洞洞板具有以下优势：使用门槛低，成本低廉，使用方便，扩展灵活。比如在大学生电子设计竞赛中，作品通常需要在几天时间内争分夺秒地完成，所以大多使用洞洞板。

洞洞板的选择

目前市场上出售的洞洞板主要有两种，一种焊盘各自独立（图1，以下简称单孔板），另一种是多个焊盘连在一起（图2，以下简称连孔板），单孔板又分为单面板和双面板两种。根据笔者的经验，单孔板较适合数字电路和单片机电路，连孔板则更适合模拟电路和分立电路。因为数字电路和单片机电路以芯片为主，电路较规则；而模拟电路和分立电路往往较不规则。分立元件的引脚常常需要连接多根线，这时如果有多个焊盘连在一起就要方便一些。当然这并不绝对，每个人的喜好不一样，选择自己用起来比较顺手的就OK了。

另外，读者需要区分两种不同材质的洞洞板：铜板和锡板。铜板的焊盘是裸露的铜，呈现金黄色，平时应该用纸包好保存，以防止焊盘氧化，万一焊盘氧化了（焊盘失去光泽、不好上锡），可以用棉棒蘸酒精清洗或用橡皮擦拭。焊盘表面镀了一层锡的是锡板，焊盘呈现银白色，锡板的基板材质要比铜板坚硬，不易变形。他们的价格也有区别，以大小为100 cm^2（10cm×10cm）的单面板为例：铜板价格3~4元，锡板7~8元，一般每平方厘米不超过8分钱。

焊接前的准备

在焊接洞洞板之前需要准备足够的细导线（图3）用于走线。细导线分为单股的和多股的（图4）：单股硬导线可将其弯折成固定形状，剥皮之后还可以当作跳线使用；多股细导线质地柔软，焊接后显得较为杂乱。

洞洞板具有焊盘紧密等特点，这就要求我们的烙铁头有较高的精度，建议使用功率30W左右的尖头电烙铁。同样，焊锡丝也不能太粗，建议选择线径为0.5~0.6mm的。

洞洞板的焊接方法

对于元器件在洞洞板上的布局，大多数人习惯“顺藤摸瓜”，就是以芯片等关键器件为中心，其他元器件见缝插针的方法。这种方法是边焊接边规划，无序中体现着有序，效率较高。但由于初学者缺乏经验，所以不太适合用这种方法，初学者可以先在纸上做好初步的布局，然后用铅笔画在洞洞板正面（元件面）上，继而也可以将走线规划出来，方便自己焊接。

洞洞板的焊接方法，一般是利用前面提到的细导线进行飞线连接，飞线连接没有太多的技巧，但应尽量做到水平和竖直走线，整洁清晰（图5）。现在网上流行一种方法叫锡接走线法，如图6所示，工艺不错，性能也稳定，但比较浪费锡。纯粹的锡接走线难度较高，受到锡丝、个人焊接工

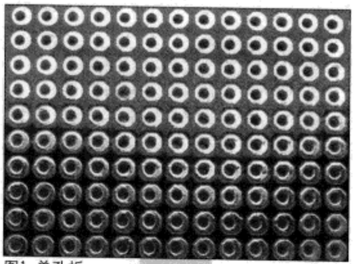


图1 单孔板

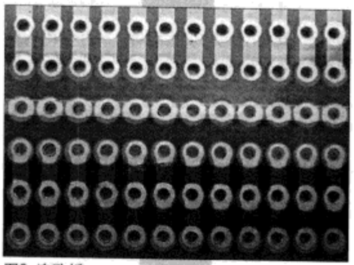


图2 连孔板

图3 细导线

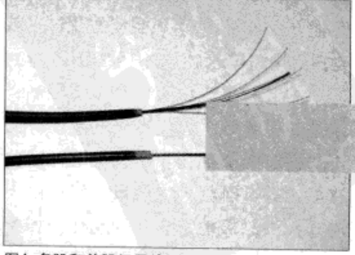


图4 多股和单股细导线

艺等各方面的影响。如果先拉一根细铜丝，再随着细铜丝进行拖焊，则简单许多。洞洞板的焊接方法是很灵活的，因人而异，找到适合自己的方法即可。

洞洞板的焊接技巧

很多初学者焊的板子很不稳定，容易短路或断路。除了布局不够合理和焊工不良等因素外，缺乏技巧是造成这些问题的重要原因之一。掌握一些技巧可以使电路反映到实物硬件的复杂程度大大降低，减少飞线的数量，让电路更加稳定。下面就笔者的经验谈谈洞洞板的焊接技巧。

1. 初步确定电源、地线的布局

电源贯穿电路始终，合理的电源布局对简化电路起着十分关键的作用。某些洞洞板布置有贯穿整块板子的铜箔，应将其用作电源线和地线；如果无此类铜箔，你也需要对电源线、地线的布局有个初步的规划。

2. 善于利用元器件的引脚

洞洞板的焊接需要大量的跨接、跳线等，不要急于剪断元器件多余的引脚，有时候直接跨接到周围待连接的元器件引脚上会事半功倍。另外，本着节约材料的目的，可以把剪断的元器件引脚收集起来作为跳线用材料。

3. 善于设置跳线

特别要强调这一点，多设置跳线不仅可以简化连线，而且要美观得多，见图7。

4. 善于利用元器件自身的结构

图8是矩阵键盘电路，图9是笔者焊接的矩阵键盘。这是一个利用了元器件自身结构的典型例子：图9中的轻触式按键有4只脚，其中两两相通，我们可以利用这一特点来简化连线，电气相通的两只脚充当了跳线。读者可以对照图10好好体会一下。

5. 善于利用排针

笔者喜欢使用排针，因为排针有许多灵活的用法。比如两块板子相连，就可以用排针和排座。排针既起到了两块板子间的机械连接作用，又起到电气连接的作用。这一点借鉴了电脑的板卡连接方法。

6. 在需要的时候隔断铜箔

在使用连孔板的时候，为了充分利用空间，必要时可用小刀割断某处铜箔，这样就可以在有限的空间放置更多的元器件。

7. 充分利用双面板

双面板比较昂贵，既然选择它就应该充分利用它。双面板的每一个焊盘都可以当作过孔，灵活实现正反面电气连接。

8. 充分利用板上的空间

芯片座里面隐藏元件，既美观又能保护元件（图11）。

“洞洞板”给我们带来了很大的方便，或许它已成为你电子实验中不可缺少的一部分。参考笔者提供的这些小经验、多动手实践，你将会体会到更好、更适合自己的使用方法和技巧。

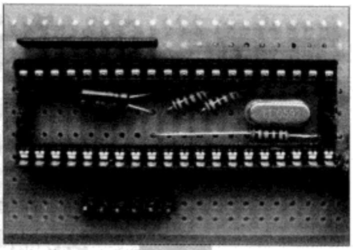


图11 芯片座内隐藏元件

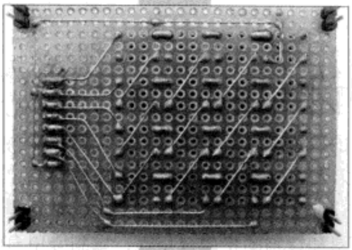


图10 矩阵键盘背面

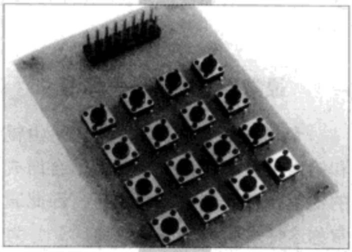


图9 矩阵键盘

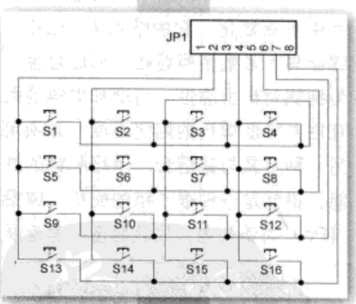


图8 矩阵键盘电路

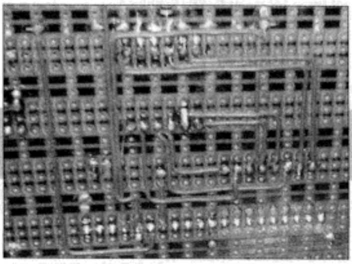


图5 常用的飞线连接法

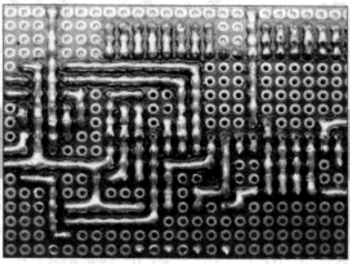


图6 锡接走线法

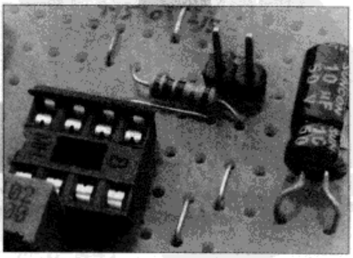


图7 多使用跳线

与初学者谈谈焊接用料

◎张晓东

焊接技术是电子爱好者必须掌握的基本技能。电子制作中常用的焊接工具是电烙铁，焊接用料是锡铅合金，另外还有帮助焊接的焊剂。焊接的原理，就是通过加热的电烙铁将固态焊料加热熔化，并借助于焊剂的物理和化学作用，使焊料流入被焊金属之间，在焊接物表面形成不同金属的良好熔合，待冷却后成为牢固可靠的焊接点。如果没有焊料，焊接就无从谈起，而选择良好的焊料是确保焊接质量的前提。

许多初学者对焊料的成分及特性等了解甚少，直接影响了焊接技能的熟练掌握。为此，下面对常用焊料及配合使用的焊剂等进行简单介绍，让读者明白基本的焊接原理、常用焊料和焊剂的正确选用等，做到心中有数，尽快在实际操作中提高自己的焊接水平。

最常用的焊料——焊锡

最常用的焊料见图1，它是由锡和铅两种金属按照一定比例熔合而成的锡铅合金，其中锡为主料，因此通常称这种焊料为焊锡。纯锡（Sn）为银白色，有光泽，富有延展性，在空气中不易氧化，它的熔点为232℃。锡能与大多数金属熔融而形成合金。但纯锡材料呈脆性，为增加焊料的柔韧性并降低焊料的熔化温度，必须用另一种金属与锡熔合，以缓和锡的性能。铅就是一种很不错的配料，纯铅（Pb）为青灰色，质软而重，有延展性，但容易氧化，有毒性，它的熔点为327℃。当锡和铅按比例熔合后，就构成了我们最常用的锡铅合金焊料——焊锡，此时熔点温度变低，使用方便，并能与大多数金属结合，具有价格低、导电性能好和连接电子元器件可靠等特点。

图1 常用焊锡实物图

1. 焊锡的焊接原理

焊接是一个比较复杂的物理、化学过程，当用焊锡焊接金属铜时，随着电烙铁的加热和焊剂的帮助，焊锡先对焊接表面产生润湿，并逐渐向金属铜扩散，在焊锡与金属铜的接触面形成附着层，冷却后即形成牢固可靠的焊接点。其过程可分为以下三步：

第一步，润湿。润湿过程是指已经熔化了的焊锡借助毛细管力沿着被焊金属表面细微的凹凸和结晶的间隙向四周漫流，从而在被焊金属表面形成附着层，使焊锡与被焊接金属的原子相互接近，达到原子引力起作用的距离。引起润湿的环境条件是：被焊金属的表面必须清洁，不能有氧化物或污染物。读者不妨通过形象比喻来理解润湿，我们把水滴到荷花叶上形成水珠，就是水不能润湿荷花，而把水滴到毛巾上，水就渗透到毛巾里面去了，这就是说水能润湿毛巾。

第二步，扩散。伴随着润湿的进行，焊锡与被焊接金属原子间的相互扩散现象开始发生。通常原子在晶格点阵中处于热振动状态，一旦温度升高，原子活动加剧，就会使熔化的焊锡与被焊接金属中的原子相互越过接触面进入对方的晶格点阵，而原子的移动速度与数量决定于加热的温度与时间。

第三步，冶金结合。由于焊锡与被焊金属相互扩散，在接触面之间就形成了一个中间层——金属化合物。可见要获得良好的焊点，被焊金属与焊锡之间必须形成金属化合物，从而使焊接点达到牢固的冶金结合状态。

综上所述，某种金属是否能够焊接，是否容易焊接，取决于两个因素：一是所用焊料是否能与焊件形成化合物，二是要有除去接头上污锈的焊剂。焊接时，焊锡能与大多数金属（如金、银、铜、铁、锌等）反应生成一种相当硬而脆的金属化合物，这种化合物就是焊料与焊件结合的粘合剂，但有些金属（如钛、硅、铬等）不能与焊锡反应，因而焊接这些金属时就不能采用焊锡这种焊料。

2. 焊锡成分与熔点的关系

焊锡中锡和铅的比例不同，其熔点和焊接时所需要的温度也不同，但它的熔点始终低于组成合金的任一种成分的熔点。对于不同的焊接件，需要选用不同熔点的焊锡和采用不同的焊接方法。常用焊锡的成分和用途见

图2 常用焊剂实物图

表2 常见焊剂的用途

焊剂名称	性质和用途
焊接药水（不含酸的氯化锌溶液）	一切锡焊几乎都适用，自制焊接药水时，须把过量的锌放入盐酸，使盐酸作用完，成为不含酸的氯化锌溶液。焊接无线电元件时最好不用，因为它会腐蚀元器件的焊接引脚（线），以致造成开路故障。
稀盐酸（1份盐酸2份水）	只适用于锌皮和镀锌铁皮。稀盐酸与锌接触，成为氯化锌溶液。
焊锡膏（含锡的焊剂，也叫焊油）	焊锡膏是粉末状焊锡和焊剂的混合物，只适用于小的焊件和用于涂锡。
装在软管里的焊料	只适用于小焊件，焊剂往往流得太快。
松香	吸氧作用较小，适用于电子元器件以及黄铜、紫铜、表面光洁工件的焊接。
松香水（1份松香3份95%的酒精）	与松香焊剂相同。

表1。由表可知，焊锡的锡含量一般保持在20%~63%。如果焊锡中锡的含量高于63%，则不仅焊料的价格上升、熔点增大，而且焊接强度降低；但锡含量也不能太低，当锡含量小于20%时，焊接强度减弱，接头发脆，焊接性能变差。

焊接电子线路，为了避免焊接时高温对电子元器件和电路板等所造成的损害，锡和铅是按锡占63%、铅占37%来配比的，以获得183℃的最低熔点和足够的可焊性。目前，市售的各种焊锡中，有些还加入了少量的其他金属，以进一步改善焊接性能，增强焊锡的坚固性等。

3. 焊剂的作用及选择

图2所示为几种最常用的焊剂。焊剂也叫助焊剂、焊药，顾名思义它具有帮助焊接的作用。经过清洁处理的金属焊接体，在加热焊接时，表面又会很快被氧化，生成一层氧化膜，这会妨碍焊锡与被焊金属的熔合。所以，焊接时必须使用合适的焊剂，一来清除焊接面上的氧化膜，并防止再氧化；二来降低液态焊锡的表面张力，增强焊锡的流动性，使焊点光亮而美观。

表1 焊锡的成分和用途

成分		熔点（℃）	用途
锡（%）	铅（%）		
25	75	257	火焰焊接
30	70	249	建筑上或粗的白铁工件
33	67	242	锌皮、镀锌铁皮
40	60	223	黄铜皮、马口铁皮
63	37	183	电子元器件

焊剂的种类很多，表2给出了几种市场常见焊剂的性能和用途。这些焊剂在常温或者焊件温度升高时，能形成薄层而分布到焊接表面，在清除氧化物的同时隔绝空气中的氧气，阻止氧化作用的继续，并能有效改善焊接性能。但需要注意的是，氯化锌和稀盐酸虽然去污去油能力很强，但腐蚀性大，不能用于电子元件的焊接。焊锡膏虽然用起来方便，但使用后常会有一部分残留在焊点附近，容易沾染尘污，并且焊锡膏内大多含有酸性物质，在焊接时四周溅溢，使周围元器件的绝缘受到影响，日久容易起腐蚀作用。这些焊剂一般只在焊接大面积的铁制或铝制等金属品时使用，而且焊接后还必须注意将残余的成分清理干净，以免造成焊点的腐蚀。

业余条件下，焊接电子线路最常用、最合适的焊剂当属松香，它价格便宜，没有腐蚀性、不易沾染灰尘。在达到焊接温度时，松香中的松香酸可起到温和除去金属表面氧化膜的作用，并且受热汽化的松香还能将一部分氧化物直接带走，另外，松香能够增加焊锡的流动性和浸润性，使焊锡迅速流到焊接部位，缩短焊接时间。松香实际上是树脂的制成品，呈半透明块状，以淡黄色为佳，赤褐色则稍差。松香在文化用品商店（乐器专用）、电子市场或中药店里均有售。买来的松香块可以直接作焊剂，每当电烙铁头蘸好焊锡之后，在松香块上“点”一下，乘烙铁头上熔融的松香未完全汽化就迅速焊接。但注意不要在一块松香上长期用电烙铁烫焊，因为反复使用过程中，松香上会附着许多杂质，例如炭化物、金属末、金属氧化物等，这会造成焊锡点多针孔、焊点不光洁和在焊点周围形成一圈污垢等，严重影响焊点质量。若按照图3所示，把松香压成粉末，放进浓度为95%的医用酒精（药店有售）或工业酒精中溶化（三份酒精加一份松香），则配制成“松香水”。松香水应保存在密闭的瓶子中，使用时在被焊处滴上一点（可用小木棍或小螺丝刀）即可。但日子一久，酒精容易挥发，松香水变稠，这时可以再加些酒精稀释。

除了以上介绍的常见焊剂外，在电子制造行业中还使用多种专用焊剂（见表3），这些焊剂电子爱好者一般不容易购买到，如果感兴趣和条件许可的话，不妨按照它们的配方自行配制。

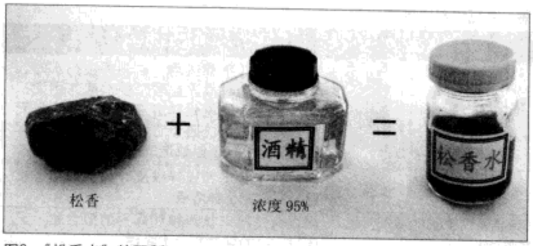


图3 “松香水”的配制

表3 电子制造行业专用焊剂

名 称	配 方	单位(克)	用 途
中性焊剂	乙二胺盐酸盐 三乙醇胺 蒸馏水 氨水 无水酒精	1 3 4 2 90	元器件准备， 一般焊接
松香酒精焊剂	特级松香 无水酒精	10 30	元器件准备， 一般焊接，电路板焊接
201焊剂	溴化水杨酸 树脂A 特级松香 无水酒精	10 20 20 50	一般焊接， 电路板焊接
202焊剂	溴化肼 甘油 松脂 无水酒精 蒸馏水	8 4 20 48 20	元器件准备， 一般焊接
有机无腐蚀焊剂	邻苯二甲酸 三乙醇胺 甘油 特级松香 无水酒精	6.4 3 3 29 58	元器件准备， 一般焊接

4. 焊锡的选择

成品焊锡通常做成条状或卷丝状。市售的适合电子电路焊接用的焊锡丝多是空心的，里面填满松香，又称松香焊锡丝。用它焊接电子线路时，可不必再加焊剂，非常方便，是电子爱好者的首选产品。这种松香焊锡丝外径有0.5mm、0.8mm、1.0mm、1.5mm、2.0mm、2.5mm、3mm等多种规格，焊接电子电路时宜选用较细的规格。

由前面表1我们可以看出，焊接电子线路所用焊锡的锡含量是最高的，由于锡的价格远高于铅，所以它的价格在同类焊料中是最高的。有的读者从市场购买来的焊锡熔点很高，且凝固后的焊点粗糙呈糠渣状，这是因为焊料中铅含量过高所致。发生这样的情况原因有二：一是误购了铅含量大、熔点高、非电子线路焊接专用的焊锡，二是购买了假冒产品。某些生产商为了降低生产成本，随意降低锡的含量，加大铅的含量，甚至采用杂质含量很高的锡、铅为原料，所生产的劣质焊锡熔点当然很高，而且焊接性能非常差。笔者以前就曾碰到过这样的事。所以读者在购买焊锡时一定要擦亮眼睛，必要时应先试用，再决定是否购买。其实从焊锡的外表就可以大致判断出焊锡的锡含量来，一般锡含量高的焊锡，其外表呈银白色有光亮，手感挺直，而铅含量高的焊锡则呈灰白色无光泽，手感柔软。

几种特殊焊锡的成分及用途

普通焊锡仅由锡和铅两种金属组成。但为了进一步改善焊锡的性能，或为了满足特殊情况下的焊接以及焊接特殊金属的需要，就要求在普通焊锡成分的基础上再添加其他成分的金属，这样就生产出了各种特殊的焊锡。下面介绍几种特殊用途的焊锡：

1. 加锑焊锡

如果焊点暴露在很冷的环境（如南极或北极）中，锡铅合金就会重新结晶，焊点不再是金属而是晶态，并且很脆，这种结晶变化会引起焊点的膨胀，使接头断裂。如果使用了加锑的焊锡，就可有效防止焊料的重新结晶。加锑焊锡的典型配比是锡63%、铅36.7%、锑0.3%。

2. 加镉焊锡

在焊接热敏感器件和玻璃器件时，为了防止器件爆裂及损坏，常使用加镉的超低温焊锡，其熔点仅为145℃。这种焊锡的典型配比是锡50%、铅33%、镉17%，由于它的熔点低，所以熔化与凝固时间短，有利于缩短焊接时间。但因镉毒性较强，所以应谨慎使用。

3. 加银焊锡

焊接具有镀银层的元器件（如陶瓷电容器）引线时，为了防止焊接时焊锡熔解掉很薄的镀银薄膜，要使用加银焊锡。这种焊锡的典型配比是锡62%、铅36%、银2%，熔点为179℃。

4. 加铜焊锡

焊接极细的铜线时，为防止焊锡对细铜线的侵蚀作用，应使用加铜的焊锡。这种焊锡的典型配比是锡50%、铅48.5%、铜1.5%。

新型焊料——无铅焊锡

铅及其化合物是17种严重危害人类寿命与自然环境的化学物质之一，也是目前公认的影响儿童中枢神经系统发育的环境毒素之一。人体中如果存在过量的铅，将会导致神经和再生系统紊乱、发育迟缓、血色素减少并引发贫血和高血压。铅对人体的直接污染是通过呼吸道和皮肤上的毛细孔管进入人体体内的，而工业废弃品中的铅会通过渗入地下水系统进入动物或人类的食物链。正因为如此，在人类环保意识不断增强的今天，禁止生产含铅制品的呼声日益高涨，含铅的焊料更是首当其冲。

2000年6月，美国IPC Lead-Free Roadmap 第4版发表，建议美国企业界于2001年推出无铅化电子产品，到2004年实现全面无铅化。2000年8月，日本JEITA Lead-Free Roadmap 1.3版发

表，建议日本企业界于2003年实现标准化无铅电子组装。2003年2月13日，欧洲议会与欧盟部长会议组织正式批准WEEE和ROHS的官方指令生效，强制要求自2006年7月1日起，在欧洲市场上销售的电子产品必须为无铅的电子产品（个别类型电子产品暂时除外）。目前为止，我国尚未制定出无铅锡制品的标准，只是信息产业部于2003年3月拟定了《电子信息产品生产污染防治管理办法》，提议自2006年7月1日起，投放市场的国家重点监管目录内的电子信息产品不能含有铅。

可见，为了消除铅污染，采用无铅焊锡已势在必行。因此，开发避免污染、能替代传统合金的绿色焊料以及实施无铅工艺制造已成为电子工业所面临的重要课题之一。我国和一些发达国家的科研机构正开展相关研究，积极寻找解决生产污染问题的方法和途径，使电子装配生产向绿色环保方向发展，其中寻找实用的无铅焊锡和实施无铅工艺就是其中关键课题。

对于无铅焊料的研发，一般要求其物理性能、钎焊工艺性能、接头的力学性能等应与有铅焊锡（Sn-Pb合金焊料）接近，而且成本不能过高。目前国内外所研究的无铅焊料主要以锡（Sn）为主，添加银（Ag）、锌（Zn）、铜（Cu）、锑（Sb）、铋（Bi）、铟（In）等的合金元素，通过合金化来改善合金焊料的性能，提高可焊性，所以多元合金化是无铅焊料设计的一大特点。目前，国内可供应的比较成熟的无铅焊锡见表4所示。

表4 国产无铅焊锡的品种和适用范围

类 别	合金成分（%）	熔点（℃）	适用范围
锡银铜三元合金	锡96.5%、银3%、铜0.5%	210~230	手工烙铁焊，波峰焊，回流焊
	锡95.5%、银3.9%、铜0.6%	217~230	
	锡95.5%、银4.0%、铜0.5%	217~223	
锡银二元合金	锡97%、银3%	221~230	波峰焊，回流焊
	锡96.5%、银3.5%	221	
	锡96%、银4%	225~235	
锡铜二元合金	锡99.3%、铜0.7%	227	手工烙铁焊，波峰焊
	锡99%、铜1%	227~240	
	锡97%、铜3%	227~320	
其他系列	锡95%、锑5%	230~240	回流焊之锡膏产品
	锡42%、铋58%	138	
	锡50%、铟50%	117~223	
	锡60%、锌40%	180	

无铅焊锡产品中，锡银二元合金的熔点在221℃~235℃之间，其最大特征是耐热性和抗疲劳性明显优于普通焊锡，不足之处是熔点偏高，成本也较高。如果在锡银二元合金中再适当加入一些铜（Cu），除了熔点有所降低外，还能够提高焊接可靠性。锡铋二元合金的特点是熔点低，这对于那些耐热性差的电子元器件焊接有利。另外，它的保存稳定性也好，可用与普通有铅焊锡大体相同的焊剂进行焊接，润湿性没有问题。锡铋二元合金的不足之处在于随着铋（Bi）的加入量增大，焊锡变得硬而脆，加工性能大幅度下降，焊接可靠性变坏。因此，生产时必须控制加入量在适当范围内。锡锌二元合金的拉伸强度、初期强度、长时间强度变化等都要比普通有铅焊锡优越，延展性也与普通有铅焊锡相同。另外，锌（Zn）的毒性也弱，成本也低。若从焊锡合金的机械强度、熔点、成本和毒性等方面考虑，锡锌二元合金替代普通有铅焊锡最合适，但锌的稳定性不好，易氧化，需选用有效助焊剂才能保证焊接良好。

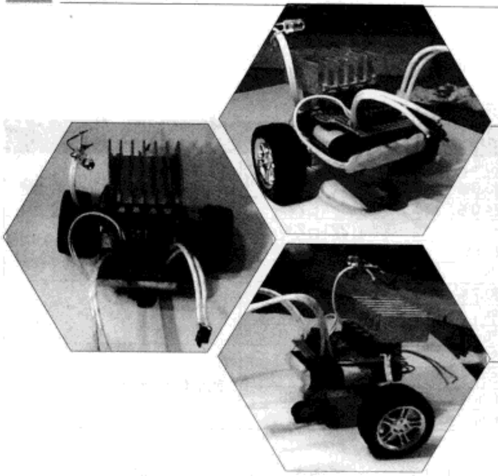
从整体来看，目前生产的无铅焊锡与普通锡铅合金焊料相比较，普遍存在着两大不足：一是上锡能力差。无铅焊锡的焊接扩散性不如普通焊锡，其扩散面积差不多是普通焊锡的1/3。二是熔点高。无铅焊锡的熔点比一般普通焊锡高出约34℃~44℃，如果读者采用无铅焊锡进行焊接，就要改用功率相应大一点的电烙铁，这样才能提升烙铁头的温度，满足焊接需求。例如，采用普通焊锡时需要用20W或30W电烙铁完成的焊接任务，在采用无铅焊锡时，就得选择40W或60W的电烙铁才行。由于焊接温度高，手工焊接时就有可能造成一些不耐热的元器件损坏。为了改善无铅焊锡的可焊性，焊料生产厂家还专门研制了与无铅焊锡焊接温度相匹配的焊剂（见表5），它能够在焊接温度下产生足够的润湿性，可保证获得良好的焊接质量。

表5 与无铅焊锡配套的系列焊剂

名称	特征	备注
松香基焊剂系列	非活性化、弱活性化、活性化	可按用户需要调整松香含量
免洗焊剂系列	固态物质含量低于5%	残渣量极少
水溶性焊剂系列	高活性	焊后需用温水清洗残渣

这里要向读者说明的是，在业余条件下仅使用无铅焊锡进行焊接，还远不能达到无铅化制作的目的，这是因为无铅化制作跟电子工业产品的无铅化生产要求是大同小异的，要求必须做到所用元器件不含铅（尤其是金属引脚不能涂上含铅的焊料）、焊接无铅、外壳材料（包括油漆）不含铅等。当然采用了无铅焊锡的直接好处是，可避免铅对制作者造成的接触性污染（主要是通过呼吸和皮肤吸收）。

实际上到目前为止，满意的替代普通有铅焊锡的工业生产用无铅焊锡还没有出现，已开始应用的无铅焊料都存在着这样或那样的问题。无铅焊锡还需继续改进，逐步提高性能，以满足电子产品高可靠性的要求。相信，随着科学技术的不断进步和人类对环保问题的越来越重视，无铅焊锡最终必将代替普通有铅焊锡！



◎王宇航

更具活力的BEAM机器人

打开刚刚从书亭里买回来的《无线电》，美丽的封面上一部精美的"智能救援车"深深地吸引着我的目光，我不由地感叹，如果我也能制作一部这么酷的车就好了。可惜的是电路实在太复杂了，对于我一个只能靠啃书本自学的初三学生来说太难了！我不由地想到BEAM 机器人。

BEAM 机器人是一种十分有趣制作又极为简单的机器人，BEAM是Biology（生物学）、Electronics（电子学）、Aesthetics（美学）和Mechanics（机械）的缩写，在2007年9月份和10月份的《无线电》里介绍过，读者可以多去了解一下。BEAM机器人不需要微处理器来做"大脑"，也不需要极其复杂的控制线路和繁杂的程序，仅靠一些传感器和传动器来操纵整个身体，却能模仿低级生物，以原始的生存本能运行。这些看似简单的机器人却也独具魅力，它不会显得"呆板"，也不"受制于人"。

整个电路的控制是由两个"神经组织"来完成，而每个"神经组织"由两个"神经元"——非门电路组成，见图1。根据非门电路"有1出0，有0出1"的特性我们可知，当点A输入高电平"1"时，B点则输出低电平"0"，由于从B点到C点又经过了一次反相，所以C点输出高电平"1"。也就是说B与C相反，C等于A。所以B点与C点输出的是两个可以使电机工作的相反的电压（即"正"和"负"）。图1所示是两个完全一样的"神经组织"分别控制左、右两脚。值得注意的是四个非门电路只能对标准的TTL电平取反，并不能作用于模拟量的传输。这里采用的是6非门集成电路74LS04。由于非门电路输出的电流太小，所以要想驱动电机必须对其进行放大。

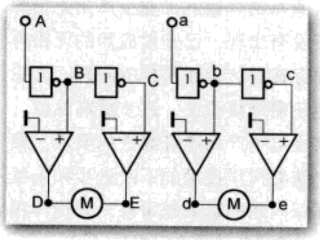


图1 电路控制示意图

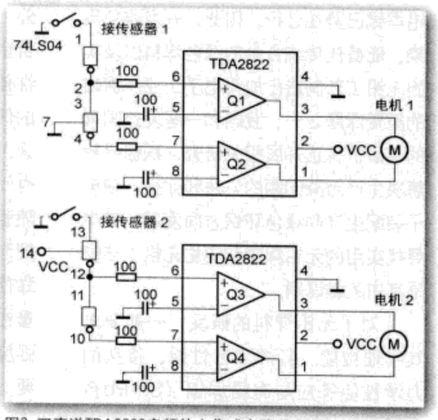


图2 双声道TDA2822音频放大集成电路示意图

驱动电路

我本打算采用三极管作驱动电路，但由于看的教材都比较老，那些电子元件大多已经退出了市场，而新的三极管又掌握不好参数，被迫放弃。正当我犹豫不决的时候，忽然想到了我制作的一些"噪声比音乐更响的功放"，为什么不用音频放大器来驱动呢？既简单，电路性能也比较好。想到这里便马上来劲了！

我选择了双声道的TDA2822音频放大集成电路。因为它具有体积小、外围电路简单、免调试等优点，并有双声道放大功能，可以进一步简化电路。图1中，当A输入高电平"1"时，B为低电平"0"，C为高电平"1"，D和E分别是放大后B和C，所以D仍为低电平"0"，E则是C点放大后的高电平，此时电机正转，当A输入低电平"0"时，电机则反转。完整的电路如图2所示。这个看似凌乱不规则的电路除了可以实现简单的避障功能外，也能够实现一些巧妙的动作，由于各电容

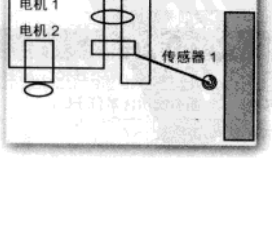


图3 传感开关及电机安装方位示意图

的充放电关系和电路的“不和谐”，当点A由高电平变为低电平时，电机高速反转几秒后才会恢复正常速度。同样，当A点再由低电平变为高电平时，同样也会往相反的方向高速旋转几秒才能恢复正常速度。也就是说当输入端遇到电平突变时电机沿反方向旋转，并在突变电平刚刚达到电机时保持着几秒钟的高速旋转，等这几秒过后就会恢复正常的运转速度。就好像一个正在散步的人眼前忽然出现一个怪物，由于受到惊吓，会立刻快速地往后倒退几步，然后才慢慢地冷静下来。这让机器人更加具有生物特性。

传感电路

这里我采用了微触开关作为电路的传感器，传感器的灵敏度非常重要，它好比人类的眼睛。在此采用微触开关并不是一个好的选择，我本来想采用红外线发射与接收器来实现传感功能，但由于我对其一窍不通又没有专业的仪器，瞎折腾了一个下午没成功，只好再次放弃，在这里我建议大家最好使用红外反射传感器。

外形设计

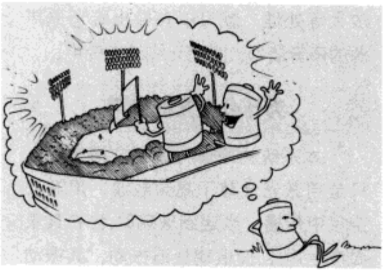
在外形上大家可根据自己的需要来设计，可以在坏掉的小汽车模型上改造，或者自己制作一个更酷的外型，再不然可以跟我一样把电路板直接粘在电池上，再在两边粘上电机、传感器等，这样更简单。要注意的是电机的接线，在没有外界触发信号时，左右两只脚（即两个电机）应该都是前进的。一旦传感开关闭合时对应的电机倒退，而另一个没有闭合的传感开关对应的电机则仍然前进。还有一点要注意的是，左电机的传感开关应设在右前方，右电机的传感开关则应设在左前方，这样转向会更准确，如图3所示。当右前方有障碍物时，设在右前方的传感器检测到障碍物后使对应的左电机倒退，而设在左前方的传感器由于没有检测到障碍物，所以仍然前行，这样机器人便转向了左边，反之则转向右边。如果左右两边都有障碍物，机器人则后退。

这个BEAM机器人是不是很有趣呢，初学者不妨也来试一下成功DIY的乐趣吧！

元件小知识

电容器

——摘自《从零起步学电子》一书



电容器有点像容器，你也许想在字典中查一查容器这个词。容器具有保存、容纳或提供空间的意思，这给了我们定义电容器一个好的开端，电容器存储电能。

你一定熟悉不少存储能量的装置。电池存储化学能，在适当的条件下电池发生化学反应，产生电流或电能；河中的水坝存储水，存储的水的势能可以推动发电机发电。

你也许想知道，电容器是如何存储电能的呢？图1描述的就是电容器存储电能的电路。注意，电容器的电路符号看起来像中间有一定间距的两根平行的导线。这个示意图准确地画出了电容器的结构。

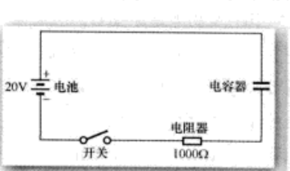


图1

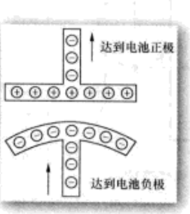


图2

当你合上开关，电子离开电池的负极，电池的正极吸引这些电子，这些电子在电路中移动。当你闭合开关时，可用欧姆定律计算出电路中的电流。但是，这个电流不能持续很久。电子到达电容器，但电子不能穿过电容器，这是因为在电容器中间有一层绝缘层。这里发生了两件事：第一，电子到达电容器中导体的表面。这些电子施加电力，排斥对面导体表面的电子。第二，电池正极从电容器的靠近正极一侧的导体表面吸引电子，当电子从这个表面离去时，电容器的这一侧带上正电荷。

图2表示了电容器中导体（或称为极板）上电荷开始积累。第一个极板上的负电荷同样也排斥更多的试图移动到这个极板上的电子。开始时只有较少的电子，这个排斥力较小。电池用较大的力推动电子，所以电子在极板上不断地积累。不过，当更多的电子堆积在极板上时，排斥力不断增强。最终，电容器极板上的电子的斥力等于电池对电子的推力，不再有电子流入电容器。

当电子在一个极板上堆积时，电池获得另一个极板上的电子。这里，当电池不断从极板上获得电子时，获得电子的能力也越来越困难。同样的道理，力达到了平衡，电池不能再从电容器极板上获得更多的电子。

自制一款有趣的激光传声器

◎甯青松　杨振　马小龙

在电影中,我们经常看到演员用发射器发射一束光到房间的玻璃上进行语音传送。是什么“魔力”让激光拥有这种特异功能呢？笔者通过多方面的探索，理解了其中的原理，自制了一款简易的激光传声器，与无线话筒功能类似，用激光探测并传递声音信号。电路制作简单，充满趣味，能让你轻松听到10m以外房间里的声音。

首先来看看这个激光传声器电路的应用框图，见图1。声源前需要一块玻璃，用激光笔发射一束激光打在玻璃上，在接收端进行光电转换、信号放大等处理，就可以在输出端还原声源的声音信号，实现无线激光传声。

为什么激光能传声

本系统的原理与调频广播类似，只是用激光代替了高频载波。声波在空气中传播，当遇到玻璃时,会在其表面产生声压,使玻璃受迫振动。其振动幅度与声压成正比，振动频率与声频一致。用激光发射器发射一束光到玻璃上，光在玻璃表面发生反射，见图2，玻璃振动将导致反射光束振动。在入射角不变的情况下，光束的位移与声音的振幅成正比，振动频率与声音的频率相同。这样就实现了声音信号对激光的调制。

在接收端用光电二极管接收反射光，对准时，使光斑的边沿射入光电二极管的窗口，由图3可知，设光斑不发生偏移时，芯片窗口接收光照的面积为$S1$，瞬时光照面积会随着光斑位置的变化而变化，设变化量为ΔS。需要指出，光斑的振动非常微弱，可以近似地认为ΔS与光束的位移成正比。光电二极管输出的电流的交流分量与ΔS成正比。因此，二极管输出的电流信号就是从激光中解调出的声音信号。再经过放大、去噪等处理，使其实现无线激光传声。

主要器件

系统主要包括激光发射器、光接收电路和信号处理电路（放大和滤波）。

1. 激光发射部分：我们选用波长为 650nm，输出功率为 30mW 激光器。当然也可以选用市场上常见的激光笔代替。650nm 可见光便于实验过程的光路调节，条件允许的情况下可以更换成红外激光发射器。选择激光器时，应选用聚光性好、输出功率稳定的激光器，否则会带来很大的系统噪声。在制作过程中请注意安全，避免激光射入眼睛。

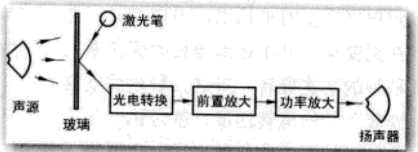


图1 激光传声器电路框图

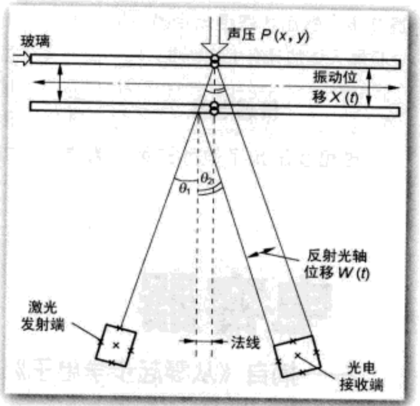


图2 激光反射示意图

2. 光电转换部分：我们选用了集成光电二极管 OPT101 作为光电转换元件，当然，也可以选用其他光电二极管。OPT101 是一款集成了光电二极管和可调跨阻的放大器集成芯片，其光电转换电路原理图见图 4，OPT101 实物见图 5，光电转换电路实物电路见图 6。

图4中，我们使OPT101引脚4悬空，调节外接C_{EXT}、R_{EXT}可以调整内部放大器的放大倍数，实验中，我们选取R_{EXT}为100kΩ，C_{EXT}为50pF。放大后，信号的幅度约为3mV。当然也可以

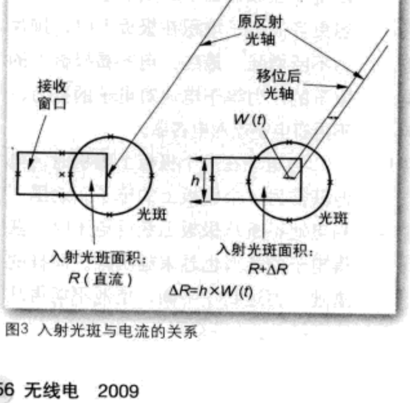


图3 入射光斑与电流的关系

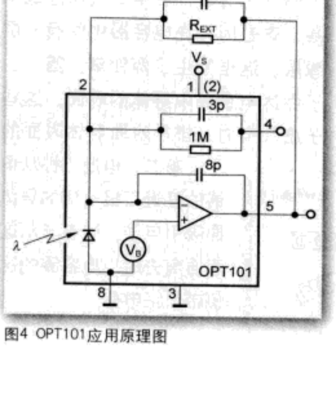


图4 OPT101应用原理图

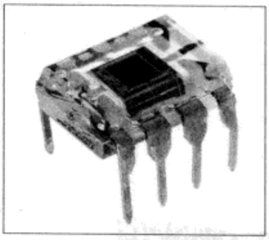


图5 OPT101

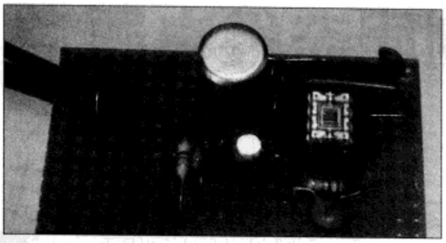


图6 光电转换电路实物

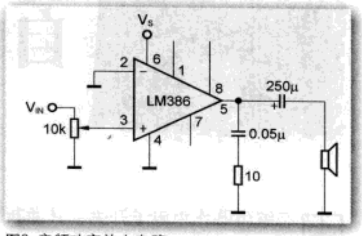


图8 音频功率放大电路

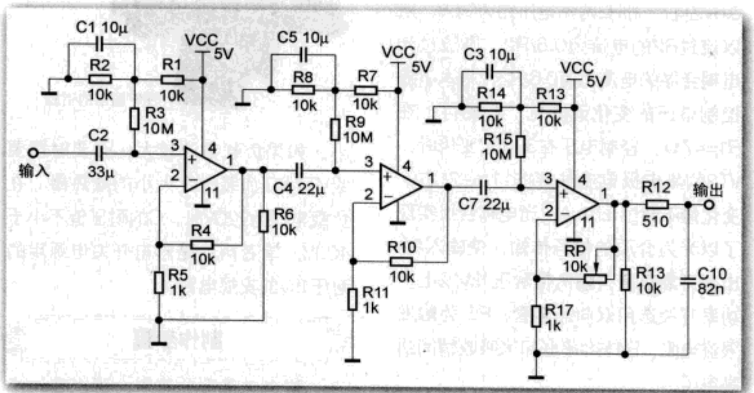


图7 前置放大电路

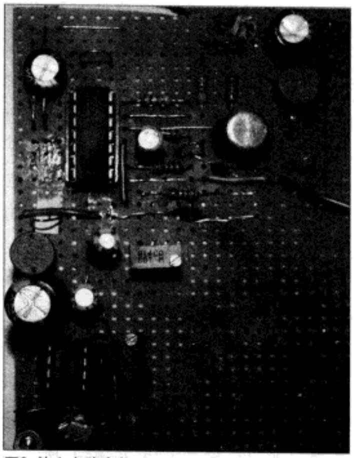


图9 放大电路实物

直接将引脚4和引脚5连接起来，不外接C_{EXT}、R_{EXT}。

3. 放大电路：放大电路由前置放大电路和功率放大电路两部分组成。其作用是将微弱信号放大，并提高其驱动能力，使声音能通过扬声器传出来。

制作过程

本电路的制作过程较为简单，关键是对电路的调整需要通过实验来完成。主要有两部分的内容：调整光路和制作放大器。

首先将一块较薄（3mm左右）的玻璃固定，将声源放在玻璃后较低位置。然后再调整激光笔和接收端的位置，使光斑的边沿对准光电二极管的窗口。为了提高实验的精度，实验过程中光路、玻璃都需固定。

入射角和光程也会影响实验结果，由光斑振动距离与入射角的关系可知，入射角越大，光斑振动越明显。因此，最好使入射角稍大，但也不宜太大，建议在30° 左右。理论上分析，光程对实验结果的影响不大，但由于实际中，激光的平行性可能不佳，这时，光程越短，光斑的能量越集中，边沿越规则。

OPT101的窗口较大，而光斑的振动相对微弱。因此，窗口接收到的光通量不会有太大的变化。这时，需要在窗口表面加一黑色的小孔，以减小光斑的射入面积。同时让光斑的边沿部分对准小孔射入，使小孔接受到的光通量的变化更为明显。

实现光电转换后，就要进行信号的放大与去噪了。该电路能达到放大1000倍、带宽不小于3.4kHz且抗噪性能良好。

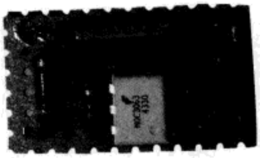
该设计方案有两个部分的放大。首先进行前置放大，使用常见的LM324芯片，使信号得到大幅度的提高，电路见图7。然后再用LM386进行音频放大，使信号的功率提高，以驱动扬声器发声，电路见图8。

音频功率放大电路的增益在20~200倍可调，带宽为50kHz。此电路对低电压信号的放大效果良好，且驱动能力强，输出信号可直接驱动8Ω的扬声器。放大电路的实物电路见图9。

调试结果

经过多次调试，最终取得了良好的效果。笔者进行实验测试，用普通激光笔加上该电路，可以很容易实现 2~10m 的传声，入射角 5° ~ 7° 均可实现。

扬声器输出的声音音质较好，但仍伴有低频噪声。系统的噪声主要来自两方面：一是电路本身的噪声，这包括各元器件自身参数的限制和各级间的影响，这一部分通过使用改良的电路可以得到很好的改善；二是环境的影响。系统对于外界声音、振动等的干扰很敏感，如何消除这些影响也是提高性能需要重点突破之处。



自制固态继电器

◎任杰

固态继电器作为电子开关，其通断无机械接触部件，较普通电磁继电器工作可靠、开关速度快、无噪声与火化，加上控制电流小，能与一般的CMOS电路兼容。因此，在日常的电子制作与电子产品的开发中，多用固态继电器代替普通的电磁继电器。

固态继电器一般由输入恒流控制部分、光电耦合器隔离部分及输出功率开关部分组成。当然，在已知输入电压变化范围不大时，我们可以将恒流部分省略掉。根据实际应用中负载供电电源是交流还是直流，在制作时可选用不同类型的光电耦合器及功率开关元件。在供电电源为直流时，光电耦合器可以选用4N系列(受光器件为光敏三极管)，功率开关元件用晶体三极管或达林顿复合管；供电电源为交流时，光电耦合器可选用MOC306x系列（受光器件可看作光控的双向触发二极管），功率开关元件用单向晶闸管或双向晶闸管。

工作原理

图1为交流固态继电器的原理图。由R1、R2、VT1、VT2构成恒流电路，保证控制电压大范围内变动时，光电耦合器可靠地工作。控制端加上电压时，电流流过R1使VT2导通，则VT1也导通，VT1发射极与基极间电压保持在0.6V左右，即R2两端电压约为0.6V，所以流过R2的电流为0.6/R2，则流过光电耦合器的电流也为0.6/R2，基本不随控制电压的变化而变化。实测得，在$R1=47\Omega$，控制电压在3~30V变化时，VT2的集电极电流维持在11mA左右，变化量不超过±1mA。光电耦合器实现了以光为介质的信号传输，使输入/输出端可靠隔离，隔离带耐压1kV以上。功率开关选用双向晶闸管，R3 为触发限流电阻，R4与C串联用来吸收瞬间的高电压。

元器件选择

恒流部分按图中的参数选取元件，均无特殊要求。图1中的光电耦合器分别选用了4N25与MOC3063等便于购买的型号。这两种光耦均采用双列直插六脚封装，外形如图2所示，图1中标注了内部结构对应的引脚排列。功率三极管或晶闸管的选取决定了固态继电器的带负载能力，图1中T选用BT136、BCR3AM时，负载电流最大为3A；选用BCR10AM时，最大电流为10A。若负载电流小于1A，T可用MAC97A6等型号的小管，这将使制成的成品体积大大减

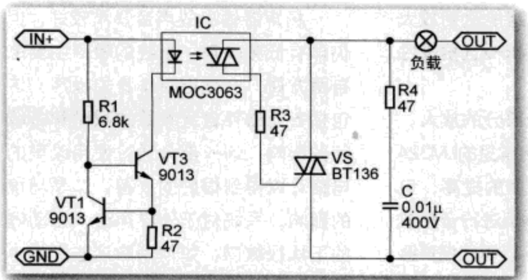


图1 电路原理图

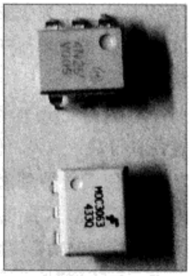


图2 光电耦合器

图3 留出的引脚

小。如果负载电流较大，必要时需要给VT4和T加装一定大小的散热器。在负载电源为220V时，C的耐压值不小于400V。笔者用的是彩电开关电源用的耐压1kV的安规电容。

制作步骤

整个电路十分简单，可以在一小块多孔板上完成制作。制作时要注意输入端与输出端要尽量远离，特别是用于负载电源为交流220V时。笔者按图1电路焊好的小板如题图所示，大小为30mm（长）×18mm（宽）×20mm（高）。留出了输入/输出端4个引脚。为了便于区分，输入端采用了较细的引线，且正极留得较长，输出端采用较粗的引线，且两根一样长，见图3。这样无需任何标示便可以根据引线对引脚排列一目了然。焊好的小板经测试无误后可以用热熔胶将其封成一个整体，或者用大小适当的绝缘外壳装起来。

制作好的固态继电器便可以在电路中取代电磁继电器使用了。这种固态继电器的工作下限电压低于3V，上限电压高于30V，因此通用性很强。在本刊2008年第4期《DIY声控流水彩灯》中，将10个发光二极管换成这种固态继电器来控制10组白炽彩灯（当然，此时完全可以将恒流部分省略），应该有不错的效果。

编前语：“实用电路制作”栏目里介绍的0～30V可调电源对于初学者而言，在制作上有一定难度。其实对于一些小电路制作，5W电源足够用，本文为您介绍一种适合初学者自制的简单有效的12V/5W线性电源的制作方法。

适合初学者制作的5W线性电源

◎yeah

电源在我们日常生活中是经常遇到的，也是电子DIY爱好者必不可少的工具。

线性电源是先将交流电经过变压器变压，再经过整流、滤波得到直流电压。这个直流电压是随着输入电压的变化而变化的，通常还需在这个直流电压上加稳压线路后再给目标板供电。线性电源制作简单，稳定性高，输出纹波小，干扰及噪声小，在小功率场合应用广泛，但是其体积较大，效率低，功率稍大，用来稳压的调整管需加装比较大的散热片。

笔者最近找到了一个5W的线性变压器，见图1。笔者给这个变压器加了一个稳压电路，做了一个好用的5W线性电源。在电子市场上买同样型号的线性变压器都可以用来制作。

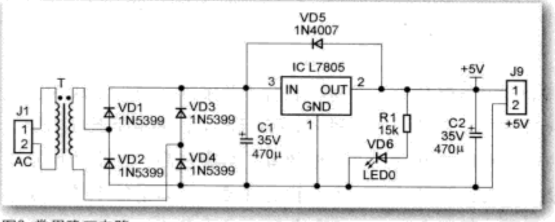


图2 常用稳压电路

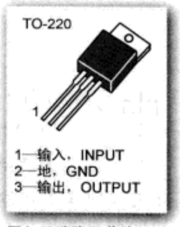


图4 三端稳压芯片

变压器的标签上标明红线是220VAC输入，输出为12V，功率5W，虽然功率只有5W，但个头已经不小了，重量也不轻,不过制作简单，就凑合着用吧。笔者正好拿它来给一块单片机小板供电，稳压电路见图2。

图2中，220V交流电经变压器后变成10V左右的交流电压，此交流电压经由4个二极管VD1～VD4组成的桥式整流器整流后变成直流电压，经过电解电容器C1滤波送至三端稳压器7805稳压，而后再经过C2滤波输出。VD6用来指示电源是否有输出。

此线路简单，也就没必要用印制板做了，于是笔者就找了1块万能板，2个35V/470μF的电解电容器，2个接线端子，1个7805，4个二极管1N5399，1个发光二极管，1个15kΩ的电阻，螺丝、柱子各6个，见图3。

7805是三端稳压IC，见图4，最大输出电流为1A，如要更大的电流就需加元件扩流，装散热片也是必要的。笔者制作的这个电源就5W的功率，且不是长时间工作，就没加散热片。

经过一番排兵布阵，这个小电源焊好了，见图5、图6。

接下来就是上电调试了。一上电，LED亮起，输出5V正常，吃了100mA电流，没有问题，电流慢慢吃大，到300mA时，输出电压就开始下降了，吃到350mA，就剩4.9V了。没办法，谁叫它就这么点功率呢，不过体积不小，重量不轻哟，如果是开关电源的话，这个尺寸，功率该有20W了。

图1 线性变压器

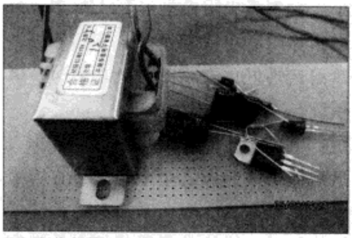


图3 制作所需元器件

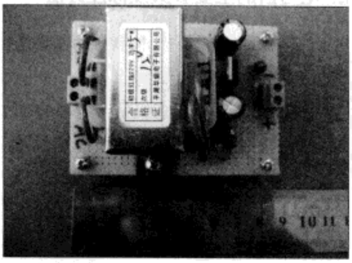


图5 焊好的电路

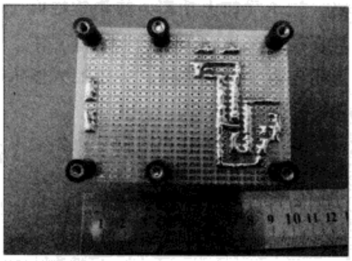


图6 印制板另一面

常用元器件的识别与使用

各种各样的电子装置都是由一个个电子元件和器件组成的，是构成各种电子装置最基本的单元。初学者要顺利完成电子制作，就避免不了与各种各样的电子元器件“打交道”，只有先熟悉它们，才能在应用中得心应手。从本期开始，我们将从通俗易懂、内容实用的角度，对常用电子元器件的基本特性、识别方法、检测方法、使用及替换修理等内容进行介绍，以帮助大家尽快掌握必备的知识，轻松地进行电子制作。

小小电阻学问大

◎张晓东

电阻器是利用一些材料对电流有阻碍作用的特性所制成的，它是一种最基本、最常用的电子元件。电阻器在电路里的用途很多，大致可以归纳为降低电压、分配电压、限制电流和向各种元器件提供必要的工作条件（电压或电流）等。为了表述方便，通常将电阻器简称为电阻。

电阻器按其结构可分为固定电阻器和可调电阻器两种，电位器也是一种可调电阻器。

固定电阻器

固定电阻器通常简称电阻，是电子制作中使用最多的元件。固定电阻器一经制成，其阻值便固定不变。

1. 常用固定电阻器的种类和特点

电子爱好者经常使用的固定电阻器有实芯电阻器、薄膜电阻器和线绕电阻器。图1所示是它们的实物外形图。由图可知，普通固定电阻器只有两根引脚，引脚无正、负极性之分。小型固定电阻器的两根引脚一般沿轴线方向伸出，可以弯曲，以便在电路板上进行焊接和安装。

实芯电阻器是由碳与不良导电材料混合，并加入粘结剂制成的，型号中有RS标志。这种电阻器成本低，价格便宜，可靠性高，但阻值误差较大，稳定性差。在以前的电子管收音机和各种电子设备中，实芯电阻器使用非常普遍，但现在的成品电器中已经很少使用。电子爱好者手头多有这种电阻器，在一般业余电子制作中还是完全可以利用的。

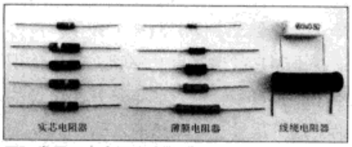


图1 常用固定电阻器实物外形图

薄膜电阻器是用蒸发的方法将碳或某些合金镀在瓷管（棒）的表面制成的，它是电子制作中最常用的电阻器。碳膜电阻器型号有RT的标志（小型碳膜电阻器为RTX），它造价便宜、电压稳定性好，但允许的额定功率较小。金属膜电阻器型号有RJ标志，外面常涂以红色或棕色漆，它精度高，热稳定性好，在相同额定功率时，体积只有碳膜电阻器的一半。

线绕电阻器在型号中有RX标志，是用镍铬或锰铜合金电阻丝绕在绝缘支架上制成的，表面常涂有绝缘漆或耐热釉层。线绕电阻器的特点是精度高，能承受较大功率，热稳定性好；缺点是价格贵，不容易得到高阻值。万用电表中的分流器、分压器大多采用线绕电阻器。

电子制作中，有时需要用到功率比较大、阻值却很小的电阻器，这样的电阻器不容易购买到，但完全可以用自制的线绕电阻器来满足需要。自制线绕电阻器（参见图2）的方法很简单：根据欲制作电阻器所要求的功率（瓦数）大小选择粗细合适的电阻丝，先测出单位长度的阻值，估算出所需阻值的长度。再将电阻丝绕在自制的胶木片骨架上，待绕得差不多时进行测量，直至达到要求的阻值。然后在胶木片两端做出引线，并焊上接线片即成。所用电阻丝可以用专门的镍铬丝、康铜丝、锰铜丝等，也可从废电烙铁芯、旧线绕电阻器等处拆下，或直接从电炉丝、电热毯丝截取。

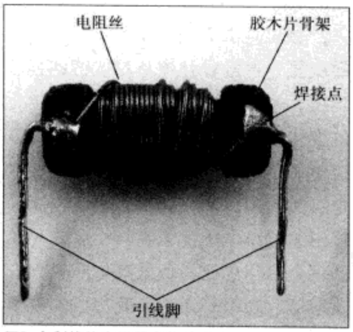


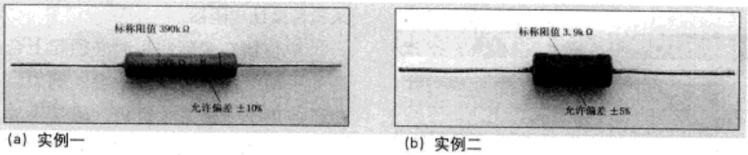
图2 自制线绕电阻器实物外形图

2. 电阻器的主要参数及标注方法

电阻器的主要技术参数有标称阻值、允许偏差和额定功率。

电阻值（简称阻值）的基本单位是欧姆（简称欧），用希腊字母“Ω”表示。通常还使用比欧姆更大的单位——千欧(kΩ)和兆欧（MΩ）。它们之间的换算关系是：

1兆欧（MΩ）=1000千欧（kΩ）



(a) 实例一 (b) 实例二

图3 电阻器的直接标志法

表1 电阻器标称阻值系列

Ⅰ级（±5%）	1.0、1.1、1.2、1.3、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、3.3、3.6、3.9、4.3、4.7、5.1、5.6、6.2、6.8、7.5、8.2、9.1
Ⅱ级（±10%）	1.0、1.2、1.5、1.8、2.2、2.7、3.3、3.9、4.7、5.6、6.8、8.2、
Ⅲ级（±20%）	1.0、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8

1千欧（kΩ）=1000欧姆（Ω）

为了适应不同的需要，国家规定了一系列的电阻值作为产品的标准，并在产品上标注清楚标准电阻值，称之为标称电阻。我国电阻器的标称阻值系列见表1所示。表中所给出的基数，可以乘以10、100、1000……例如3.9这个基数，可以是3.9Ω，也可以是39Ω、390Ω、3.9kΩ、39kΩ、390kΩ和3.9MΩ等。

由于电阻器在生产过程中存在着误差，所以标称阻值并不是100%的等于电阻器的实际电阻。我们把电阻器的实际阻值和标称阻值间的差别，常以差值与标称阻值的百分比数来表示，叫做允许偏差（或阻值误差）。电阻器产品根据允许偏差大小可以分为3个等级，即：Ⅰ级允许偏差为±5%；Ⅱ级允许偏差为±10%，Ⅲ级允许偏差为±20%。很显然，允许偏差值越小，表示电阻器的阻值精度越高。

电阻器是一种耗能元器件，当电流通过电阻器时，就会有一部分电能转换成热能，使电阻器温度升高。若使用时电阻器通过的电流太大或电阻器两端承受的电压过高，都会造成过热而损坏。因此，各种电阻器都规定了它的标称功率（又叫额定功率）。如果低于额定功率使用，电阻器的寿命就长，工作安全，如果超负荷使用，轻者会缩短它的使用寿命，重者可能将电阻器烧坏。电阻器长期工作所允许承受的最大电功率即为额定功率，单位为瓦（W）。一般电阻器分为1/16W、1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W、5W、10W等多种，使用中，电阻器实际消耗的功率必须小于它的额定功率。在电子制作中，如果电路中没有特别注明，通常都可以使用1/8W或1/4W的电阻器。

以前国产的电阻器大多数是将其标称阻值、允许偏差和额定功率（1W以下不标明）用数字和字母等直接印在表面漆膜上的，如图3（a）所示。这种直接标志法的好处是各项参数一目了然。另一种标志方法是在单位符号（Ω、kΩ、MΩ）前面用数字表示整数阻值，而在单位符号后面用数字表示第一位小数阻值，下面的字母则表示电阻值允许偏差的等级。字母等级划分：D表示±0.5%，F表示±1%，G表示±2%，J表示±5%，K表示±10%，M表示±20%。例如，图3（b）所示的电阻器阻值为3.9kΩ，误差为±5%。

实际上，目前占据电阻器主流标志方法的是国际上惯用的“色环标志法”。采用色环标志电阻器的标称阻值和允许偏差有很多好处：颜色醒目，标志清晰，不易褪色，并且从电阻器的各个方向都能看清阻值和允许误差。使用这种电阻器装配整机时，不需注意电阻器的标志方向，有利于自动化生产。在整机调试和修理过程中，不用拨动电阻器就可看清阻值，给调试和修理带来方便，因此世界各国大多采用色环标志法。

采用色环标志法的电阻器，在电阻器上印有4道或5道色环表示阻值等，阻值的单位为Ω。对于4环电阻器，紧靠电阻器端部的第1、2环表示两位有效数字，第3环表示倍乘数，第4环表示允许偏差，如图4左边所示。对于5环电阻器，第1、2、3环表示三位有效数字，第4环表示倍乘数，第5环表示允许偏差，如图4右边所示。一般说来，我们常用的碳膜电阻器多采用4色环，而金属膜电阻器为了更好地表示精度，多采用5色环。

色环一般采用黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白、金、银等12种颜色，它们所代表的数字意义如表2所示。图5给出了色环电阻器的实例。其中，图5（a）的电阻器4道色环依次为“棕、黑、红、金”，它表示10后面有2个0，其阻值为1000Ω=1kΩ，允许误差为±5%；图5（b）的电阻器5道色环依次为“绿、棕、黑、橙、棕”，它表示510后面有3个0，其阻值为$510\times10^3\Omega$=510kΩ，允许误差为±1%。

色环标志法中每种颜色所对应的数字在国际上是统一的，初学者往往一时记不住，运用不熟练，其实你只要记住下面10个字的顺序，即“黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白”，它对应着数字“0、1、2、3、4、5、6、7、8、9”，并且代表允许误差的最后一圈色环多为专门的金色或银色，“熟能生巧”，慢慢就会运用自如了。

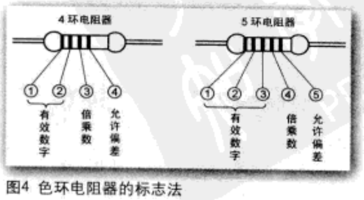


图4 色环电阻器的标志法

表2 电阻器上色环颜色的意义

颜色	有效数字	倍乘数	允许偏差
黑	0	$\times 10^0$	
棕	1	$\times 10^1$	±1%
红	2	$\times 10^2$	±2%
橙	3	$\times 10^3$	
黄	4	$\times 10^4$	
绿	5	$\times 10^5$	±0.5%
蓝	6	$\times 10^6$	±0.25%
紫	7	$\times 10^7$	±0.1%
灰	8	$\times 10^8$	
白	9	$\times 10^9$	
金		$\times 10^{-1}=0.1$	±5%
银		$\times 10^{-2}=0.01$	±10%
无色			±20%

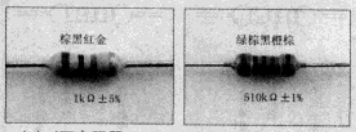
可调电阻器

可调电阻器主要有微调电阻器和电位器两大类，其最大特点是电阻值能够在一定范围内连续可调。

1. 微调电阻器

微调电阻器又称微调电位器、半可调电阻器，其实物外形见图6所示。它的阻值可以在一定范围内改变，常用于偶尔需要调整阻值的电路里，例如作为晶体管的偏流电阻器、电桥平衡电阻器等。

微调电阻器的结构原理可通过图7所示的WH7-A型立式微调电阻器来说明。与固定电阻器相比较，微调电阻器增加了一个可以在两个固定电阻片引出脚之间滑动的触点引出脚，其中两个固定电阻片引出脚之间的电阻值固定，并将该电阻值称为这个微调电阻器的标称阻值。而滑动触点引出脚与任何一个固定电阻片引出脚之间的电阻值可以随着滑动触点的转动而改变。这样，可以达到调节电路中的电压或电流的目的。



(a) 4环电阻器　(b) 5环电阻器

图5 色环电阻器实例

微调电阻器的阻值一般打印在它的外壳或表面明显处，所标阻值是它的最大阻值。微调电阻多用于小电流的电路中，其额定功率较小，常见的多是合成碳膜电阻器，它的型号中有WH标志。若在大电流电路中使用微调电阻器，如电源滤波电路等，则要用线绕半可调电阻器（型号中有WX标志）。

2. 电位器

电位器也是一种可调电阻器，它在电路中多用于经常需要改变阻值，进行某种控制或调节的地方，如收音机的音量调节、稳压电源输出电压调节等都是通过电位器来完成的。常用电位器有普通旋转式电位器、带开关电位器、小型带开关电位器、直滑式电位器等，它们的实物外形见图8。

电位器与微调电阻器在构造上有相似的地方，它们一般都有3个引出脚（参见图9），其中两边的两个固定电阻引出脚间电阻最大，而中间的滑动触点引出脚与左、右两个引出脚之间的电阻可通过与旋轴相连的簧片式触点移动而改变，但这两个电阻值之和始终等于最大电阻（标称阻值）。与微调电阻器相比，电位器具有较长的旋轴和外壳，制造工艺也更精巧，有的电位器还附有独立的电源开关。在业余电子制作或临时搭接线路的电子实验中，只要体积允许，可用电位器来代替微调电阻器。

电位器在实际应用时必须配上合适的手动绝缘旋钮或拨轮盘。例如，广泛应用于便携式收音机、磁带录放机等产品中的WH15-K型带开关小型合成膜电位器（图8），只有给它配上了专门的塑料拨轮盘，才能顺利操作。通过塑料拨轮盘控制旋柄转动，从而完成电源开关和阻值改变两项工作。

电阻器的使用

1. 在电路图中的识别

图10中画出了固定电阻器、微调电阻器与电位器的电路符号。符号中的长方块，表示电阻体本身，两端的短线表示电阻器的两个引脚线。微调电阻器和电位器符号中带箭头的引线，表示滑动簧片端。在电路图中，为了整齐、清楚，这些电路符号可以竖着画，也可以横着画。在图中的位置也以连接简捷为前提。这与制作时它们的实际位置，竖放还是横放，以及排列的远近疏密都没有关系。这一点对电阻器以外的其他元器件也是一样的，请初学者注意。

通常情况下，如果一个电阻器在电路符号中或文字叙述中没有其他特别的说明，则可认为选择该电阻器时对型号、种类以及功率等均无特别要求。

2. 检测与修复

电阻器在使用前，最好用万用表

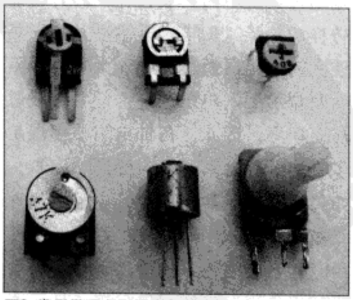


图6 常用微调电阻器实物外形图

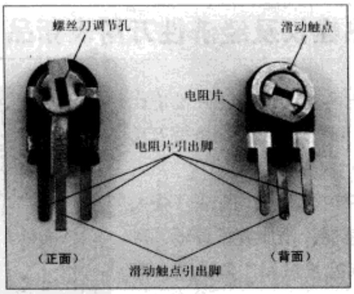


图7 WH7–A型立式微调电阻器

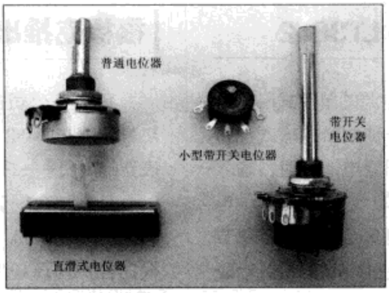


图8 常用电位器实物外形图

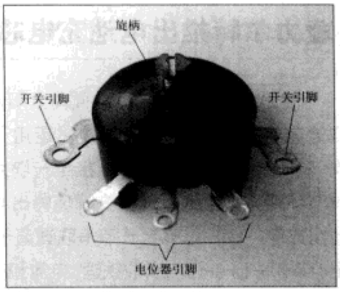
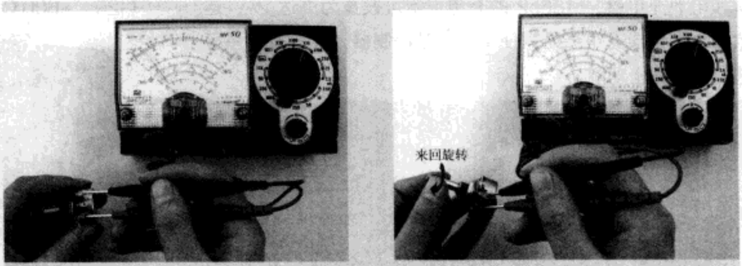


图9 WH15–K型带开关电位器

进行简单检测，以做到心中有数。检测普通电阻器的好坏，主要是用万用表测它的阻值。正常情况下，万用表的读数应与标称阻值大体符合，如果万用表的读数与标称阻值相差很大，或万用表指针不动、指针摆动不稳，则说明该电阻器已经损坏。这里需要注意，不能用两只手同时接触万用表的表笔两端去测量电阻值，因为这样会把人体电阻与被测电阻并联，从而造成测量误差。这在测高值电阻器时尤需注意。

检测电位器或微调电阻器的质量好坏时，可分两步进行：首先，测量电位器的最大阻值。按照图11（a）所示，将万用表的表笔跨接在电位器两固定端，测量一下电位器的最大阻值，其读数应为电位器的标称阻值。如果万用表指针不动或阻值相差很多，则表明被测电位器已损坏。然后，测量电位器滑动片与电阻体接触是否良好。按照图11（b）所示，将万用表的表笔分别接在活动端和一个固定端，同时缓慢地旋转电位器的旋轴，从一个极端转至另一个极端，反复调两次，万用表测出的阻值应在“0”和标称阻值之间变化。如果在电位器旋轴转动过程中，万用表的表针有跳动现象，说明可变触点接触不良，这样的电位器不宜使用。



(a) 测量最大阻值　(b) 检查接触状况

图11 电位器的检测方法

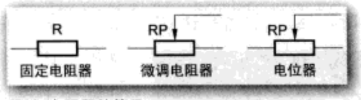


图10 电阻器的符号

固定电阻器价格便宜，如发生断裂、变值、引线松脱而损坏时，一般应丢弃。微调电阻器常因日久积尘或锈蚀而造成接触不良，如发现测量阻值变大或开路，可用酒精棉球擦洗，或调整簧片压力，一般可以修复。

3. 替代使用方法

在电子制作中，如果我们手头一时没有所需阻值或功率的电阻，那么可以用串联、并联的方法，“凑”出代用的电阻器。按照图12（a）所示，用几个阻值小的电阻器串联，可以得到大阻值电阻器。串联后总阻值等于各个电阻之和，即 $R_{总} = R1+R2+R3$。按照图 12（b）所示，用两个阻值较大的电阻器并联，可代替较小阻值的电阻器，并联的总阻值 $R_{总} = R1 \times R2/(R1+R2)$。当这两只电阻阻值相等时，并联后总阻值即减半。

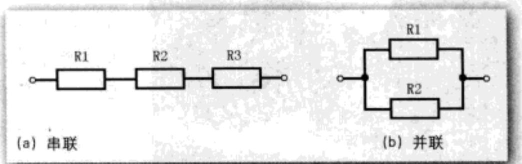


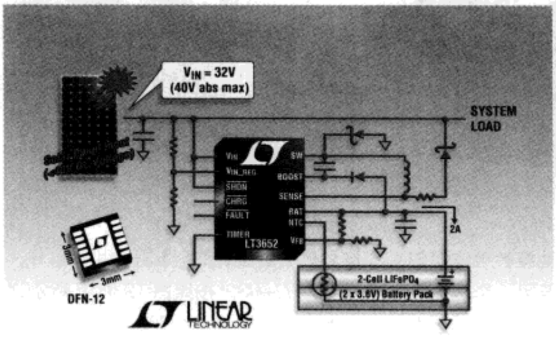
图12 电阻器的替代法

小功率电阻串联或并联都可以代替大功率电阻。例如：有一只100Ω、4W的电阻器损坏，我们可以用两只50Ω、2W的电阻器串联，也可以用两只200Ω、2W的电阻并联来代替，效果是一样的。多只电阻器或不同阻值电阻器串联、并联后，各自功率承担的情况比较复杂，需通过计算求得，这在实际中很少使用。

在电阻器的代用中，如果允许不考虑价格和体积，那么大功率电阻器可以取代同阻值小功率电阻器，金属膜电阻器可以取代同阻值、同功率碳膜电阻器或实芯电阻器，微调电阻器可代替固定电阻器。如果需要调节的机会极少，那么固定电阻器也可以取代调节阻值的微调电阻器。

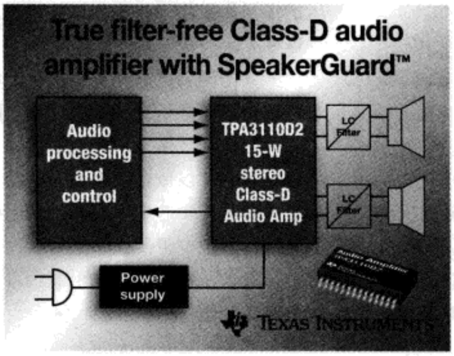
凌力尔特推出电池充电芯片LT3652

凌力尔特公司推出一款面向太阳能电源的单片式降压型电池充电芯片LT3652。LT3652 运用了一种创新的输入电压调节环路，当把 LT3652 连接至一块太阳能电池板时，输入调节环路将把电池板保持在峰值输出功率。它能够给多种电池组充电，包括单节至三节串联锂离子/锂聚合物电池、单节至4节串联 LiFePO4 (磷酸铁锂) 电池和高达 14.4V 的密封铅酸 (SLA) 电池。其应用包括太阳能供电型系统、12~ 24V 汽车设备和电池充电器。LT3652 的充电电流可设置为高达 2A。这款独立型电池充电器无需使用外部微控制器，并具有用户可选的充电终止功能。



德州仪器新推出一款D类音频放大器

德州仪器推出一款真正的无滤波器、15W立体声模拟输入的D类音频放大器TPA3110D2。该器件采用高级电磁干扰抑制技术，无需基于电感器的高成本输出滤波器，可减少元件用量，并降低了成本。该元件使用SpeakerGuard保护电路，可保护扬声器免受损坏，是高清电视、数字无线电广播以及有源音箱等音频应用的理想选择。



福禄克推出热像仪及经济性万用表新品

FLuke 18B

FLUKE公司推出两款高性能、高性价比热像仪Fluke Ti32 和 TiR32，以及经济型万用表新的成员——Fluke 18B。

Fluke Ti32 和 TiR32 热像仪均配备了强大的 320x240 FPA 传感器、画质异常清晰，可根据客户现场条件选配长焦和广角镜头，而无须返场校准。Ti32热像仪具备在测温量程（-20　+600℃）条件下，可获得高热灵敏度≤0.05℃（在 30℃目标温度下），这不仅能够反映微小的温度差，而且还可以提供无噪声的优质图像。

另外，Fluke还推出了专门针对中国LED客户检测的需求所研发出的首个可以测量发光二极管LED的新型数字万用表——Fluke 18B。18B的最大特色在于其测量发光二极管的功能——只需要插入/触碰被测LED一次，即可以判断发光二极管的好坏，提示其正负引脚以及测量其正向导通电压V_f。

微芯科技公司推出全新8位PIC单片机系列

美国微芯科技公司，推出采用nanoWatt XLP技术的全新8位PIC单片机系列，可以实现极低的休眠电流，型号为PIC18F13K22、PIC18LF13K22、PIC18F14K22和PIC18LF14K22。该系列采用20引脚封装，能在1.8~5.5V电压下工作，休眠电流可到nA级，具备高达16 KB的闪存程序存储器。这些器件配备了包括支持mTouch容性触摸传感在内的增强型外设集，非常适合各种通用应用。

Media TECHNOLOGY 传媒典藏

人民邮电出版社《高保真音响》杂志社 高保真音响 www.hi-fi.com.cn

联合全球著名传媒图书出版社Focal Press 2009巨献

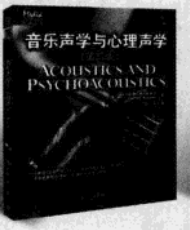
倾听大师的声音

音频技术与录音艺术

书号：20848 定价：45元

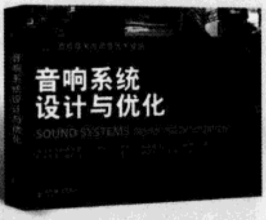
书号：20920 定价：68元

书号：20087 定价：78元

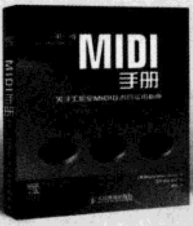


书号：21677

书号：21641



书号：19359 定价：180元



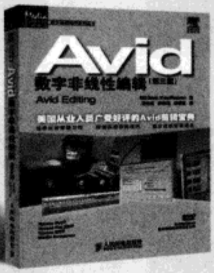
书号：19148 定价：48元

书号：19039 定价：58元

书号：18556 定价：180元

影视制作与导演制片

书号：19122 定价：28元



书号：20953 定价：80元

新媒体经营与法律

书号：20094
定价：72元

书号：21287
定价：65元

书号：21457
定价：45元

书号：19279
定价：70元

书号：19400
定价：68元

书号：20547
定价：45元

网上购买

卓越亚马逊网上书店：http://www.amazon.cn
当当网上书店：http://book.dangdang.com
互动出版网：http://www.china-pub.com

邮购方式

邮购热线：010-67129212
汇款地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座
《高保真音响》杂志社（100061）

人民邮电出版社 POSTS & TELECOM PRESS

地址：北京市崇文区夕照寺街14号A座
邮编：100061
咨询电话：010-67132837

来京安求学　到北京就业

中国家电协会定点学校　社会公认满意学院

京安学院1985年创办，隶属于北京京安北方教育集团，24年来毕业学员24万余人。学院多次荣获“全国办学先进单位”称号，被中国质量万里行活动评为“教育教学信得过单位”。中央电视台、《人民日报》、《参考消息》、《中国青年报》等多家媒体对学院的办学理念、育人模式进行了多次报道，受到了社会各界人士的广泛赞誉。依托大学的师资、设备资源优势，使用自编教材（中国科技出版社出版），通俗易懂，确保学员能听懂、学会就业拿高薪。在校可以考取国家承认的大专或本科毕业证书、中（高）级职业资格证书和工程师证书。入学签订“包教保学保就业合同”，不能就业退还50%学费。历年来学员在京就业率达95%以上。

开设专业： ★电子类专业　★数控技术

★计算机类专业　★电工类专业　★汽修专业

另有特色一年制大专班

2010年度招166—175届，2月28号开学。以后每年、每月28号均招生，开学前两天北京西站有接待站。以上各专业均有函授学习，随时报名学习。

赵院长在全国高校高峰论坛上做精彩演讲

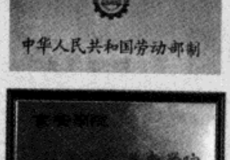
职业技能进校园活动

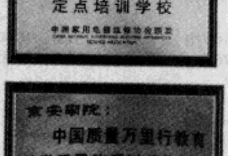
我校学员在首届技能维修大赛中夺冠

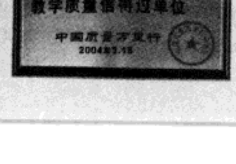
段书记和赵院长为发明教具老师颁奖

学校机房

毕业学员取得荣誉证书后合影







本院大专、本科函授取证，电子注册、网上查询、承认学历、常年招生，详见简章或浏览网址。

地址：(100068)北京市丰台区角门18号名流未来大厦711
电话:010-87570040　87570041
网址:www.jinganxy.com
Email:wyxwts@tom.com
咨询QQ:22908457,330849577
全国免费咨询热线：400 811 0022

封面
书名
版权
目录
特别策划手电专题我的爱好我做主——手电记录　　宋思源
手电的灵魂——发光体　　宋思源
小小电路有乾坤——手电驱动电路　　宋思源
手电光斑的精髓——二次光学元件　　宋思源
手电的动力——供电系统　　宋思源
不可小视的手电开关　　宋思源
浅谈手电的制造　　宋思源
手电实战测试　　宋思源
国内外手电品牌纵览　　宋思源
ＬＥＤ进化史　　杜洋
时间频率专题如何建立自己的时间和频率标准　　张利民（ＢＧ２ＶＯ）
时间频率标准必备知识点　　张利民（ＢＧ２ＶＯ）
常见的频率比较仪器——频率计　　张利民（ＢＧ２ＶＯ）
为自己选择一个合适的时间频率标准　　张利民（ＢＧ２ＶＯ）
频率测量的方法　　张利民（ＢＧ２ＶＯ）
丰富而独特的时间显示方法　　张利民（ＢＧ２ＶＯ）
５１单片机开发实验板横评专题选你所需　　无线电实验室
晶控电子５１综合实验板　　无线电实验室
星研ＳＴＡＲ－ＭＴ５１　　无线电实验室
爱因ＡＹ－ＵＳＢ５１Ｆ　　无线电实验室
强联ＷＳ９７ＯＯＵ　　无线电实验室
评测横向对比总结　　无线电实验室
音频应用《无线电》与中国音响ＤＩＹ联合举办的第七届音响制作比赛圆满结束　　编辑部
第七届音响制作比赛参赛作品选登一款改进型纯后级甲类功放的设计与制作　　张安聚
初试８分时并联ＤＡＣ　　吴巍
超平衡耳放的设计与制作　　吴自文
平衡式２．１声道桌面功放的制作　　吴自文
我依然爱你——１８７５　　夏盛
为圆孩时的梦—一ＪＡＤＩＳ经典电路的仿制　　天鸿
ＤＴＳ解码＆卡拉ＯＫ混响前级的设计与制作　　杨盛东
全手工打造的１０英寸全频扬声器　　文贤
自己动手制作耳机——手工打造动圈耳机单元的尝试　　倪文贤
——动圈耳机单元的改良　　倪文贤
——把改良的动圈单元做成一副耳机　　倪文贤
一款三分频高保真土炮音箱的设计与制作　　ｏｋｒａ
迷你型胆石机制作５６７０＋ＬＭ１８７５　　晴风雨
用ＴＤＡ１５５４Ｑ搭焊小型功放　　沙伟航
用普通ＭＦ万用表快速筛选配对晶体管　　吴润照
２００８年广州音响ＤＩＹ交流会专题报道　　本刊记者　　邓晨
重拾ＬＭ１８７６制作小型功放　　语蓝
高保真“可变声道”功放初探　　吴刚（武汉）
一款为书架箱设计的“胆味”晶体管功放　　魏涛
可平衡ＢＴＬ桥接合并功放的制作　　原声电子
一款大功率Ｔ类功放板的制作　　游宇兵
用ＰＣＭ１７３８制作小巧的音频解码器　　语蓝
电脑功放组装手记　　吴玥
用电池供电的话筒放大器　　姜韬
用ＬＭＥ４９８１０制作高性能功率放大器　　李宏伟
用电子管和ＬＭ１８７５制作靓声小功放　　何立基
一款实用的功放保护电路　　陈吹信
ＬＭ４７８０的同门兄弟——ＬＭ４７３２　　梓门
一款“混合型”小功放的设计与制作　　何立基
智能风冷散热器的制作　　林芝松
“乌鸦变凤凰”——用废旧材料打造ＭＰ３音乐盒　　姚宗栋
性能优良的多媒体数字功率放大器的设计与制作　　魏坤
广播爱好者巅峰的高度——德生Ｓ－２０００准专业级收音机评测　　黄平
巧用收音机作ＭＰ３扩音器　　孙永峰
看看具有应急功能的收音机　　红色电波
我与收音机的故事德劲ＤＥ１１２３　ＤＳＰ全波段收音机测评　　赵昶
ＴＥＣＳＵＮ　ＰＬ－６００便携式收音机介绍　　黄平
知识介绍浅谈收音机有源天线　　ｘｙｚ
手摇发电过猛出现的意外　　红色电波
给德生Ｒ－９７００ＤＸ收音机增加延时关机功能　　红色电波
德生Ｓ－２０００收音机电路简析（一）　　红色电波
德生Ｓ－２０００收音机电路简析（二）　　红色电波
根德牌Ｓ３５０型ＢＣＬ收音机（１）　　红色电波
三款数字调谐电视伴音收音机横向对比　　黄平
根德牌Ｓ３５０型ＢＣＬ收音机（２）　　红色电波
耳听为实——为收音机选配一款入门耳塞　　黄平

火腿通信走近ＥＭＥ通信试验（上篇）　　吴国光（ＢＡ７ＩＡ）
走近ＥＭＥ通信试验（下篇）　　吴国光（ＢＡ７ＩＡ）
如何选购二手驻波比表　　聆听
ＩＣＯＭ　ＩＣ－７０００功能细说　　杨法（ＢＤ４ＡＡＦ）
图解手机火腿铃声ＤＩＹ　　阮东升（ＢＡ６ＱＨ）
ＹＡＥＳＵ　ＶＸ－８Ｒ零距离全接触　　杨法（ＢＤ４ＡＡＦ）
巾帼不让须眉——中国业余无线电界的女“火腿”　　焦亮梅（ＢＤ１ＡＹＬ）
细说ＶＸ－８Ｒ之蓝牙应用　　杨法（ＢＤ４ＡＡＦ）
传输线巴伦的制作与测试　　刘辉（ＢＧ１ＬＱＸ）
什么是业余无线电卫星通信　　吴国光（ＢＡ７１Ａ）
Ｍｏｔｏｒｏｌａ“军刀”对讲机漫谈　　杨法（ＢＤ４ＡＡＦ）
实测ＩＣＯＭ　ＩＣ－Ｕ８２　　杨法（ＢＤ４ＡＡＦ）
ＣＧ２０２Ａ天线调谐器试用报告　　杨法（ＢＤ４ＡＡＦ）
业余无线电卫星通信必备器材　　吴国光（ＢＡ７１Ａ）
如何进行业余无线电卫星通信　　吴国光（ＢＡ７１Ａ）
二手射频功率计的选购　　聆听
二手无线电综合测试仪选购指南　　聆听
业余无线电，玩的不仅是“无线电”　　张峥（ＢＧ８ＳＦ）
火腿操作入门用手台实现远程通联　　方明（ＢＡ６ＡＡ）
手台使用进阶必备　　方明（ＢＡ６ＡＡ）
车台使用进阶必备　　方明（ＢＡ６ＡＡ）
车载短波电台进阶　　方明（ＢＡ６ＡＡ）
基地台接收操作进阶　　方明（ＢＡ６ＡＡ）
基地台的认知和安装　　方明（ＢＡ６ＡＡ）
天线制作十二款一个小时可以做成的ＵＨＦ波段天线　　刘和平（ＢＤ１ＨＰ）
便于在阳台安装的１０ｍ波段天线　　朱轩（ＢＨ４ＲＣＩ）
天线小知识　　刘和平（ＢＤ１ＨＰ）
５波段偶极天线制作详解　　刘燕北（ＢＤ２ＢＨ）
ＨＡＭ关注的几大国际赛事　　曹文隆（ＢＡ３ＡＧ）
ＶＨＦ／ＵＨＦ双波段超级Ｊ型天线　　刘燕北（ＢＤ２ＢＨ）
便携式“双Ｔ”垂直偶极天线　　刘燕北（ＢＤ２ＢＨ）
不用天调的多波段温顿天线　　刘燕北（ＢＤ２ＢＨ）
测试测量实用的电池内阻测试仪　　吴汉清
可测量液体温度的数显温度计　　刘作新
数字示波器ＤＩＹ专题因有一只鞍而买一匹马　　魏坤
做个数字示波器难吗？——系统综述　　魏坤
电路才是“硬”道理——硬件电路简述　　魏坤
给你的电路注入灵魂——程序设计　　魏坤
神形合一，让你的示波器动起来！——制作调试篇　　魏坤
示波器使用三板斧（三）——测量ＭＰ３、ＭＰ４、ＭＰ５篇　　黄勇　　葛中海
三种音响电源的对比测试　　牛歌
电动车蓄电池容量测量仪　　吴汉清
电路板雕刻经验与技巧　　周宝善
用虚拟示波器调试红外收发电路　　陈庚
测试展台　　资料室
法拉第电磁感应定量测试仪　　殷建彬
数字示波器使用技巧如何捕捉非周期性突发脉冲信号　　凌锋
如何捕捉和重现稍纵即逝的红外发射信号　　周春艳
用数字存储示波器测量直流电源参数　　凌锋
用电脑直接获取数字存储示波器图形的方法　　黄培根　　周春艳
测试展台Ａｇｉｌｅｎｔ　Ｕ１６００Ａ系列手持式数字示波器　　资料室
电脑变示波器——新一代虚拟测试系统（１）　　王洪伟
测试展台　　安泰信ＡＤＳ１０００ＣＥ系列数字示波器　　资料室
电脑变示波器——新一代虚拟测试系统（２）　　王洪伟
电脑变示波器——新一代虚拟测试系统（３）　　王洪伟
测试展台吉时利推出５０ＭＨｚ任意波形／函数发生器　　资料室
示波器在电子制作中的应用声光控开关的制作与检测　　杜玲安　　葛中海
玩转单片机试玩ＰＩＣ１２Ｆ６７５单片机手记　　吴红奎
做一个有趣的触摸屏鼠标　　张科　　谢丽华
精确把握ＤＳ１８Ｂ２０读写时序延长连接距离　　莫秋元
机器车制作三部曲　　宋泽清
认识智能救援车　　宋泽清
打造最小系统平台　　宋泽清
灵活避障快速循迹　　宋泽清
让救援车探测和搬运金属　　宋泽清
用ＤＳ１２８８７制作无电源仍可走时的时钟　　李海秋
让救援车学会说话　　宋泽清
里程、角度、温度测量篇　　宋泽清
无线发射、接收篇　　宋泽清
简单程序打造“山寨”版机器手　　余俊杰
机动车尾号限行提示器　　刘世泉
数码管和点阵ＬＦＤ的动态扫描方法　　何海滨
可编程定时放音电子礼物　　杨德富

语音温度计　　胡静波
盛群半导体新推出新一代音乐微控制器　　资料室
经济高效的入门级８位微控制器ＳＥ８　　资料室
智能节水抵御干旱——单片机控制的灌溉系统　　吴岭清等
单片机开发工具ＤＩＹ用三星手机数据传输线改制ＳＴＣ单片机编程线　　徐延军
不会莫尔斯电码也能发报——易做易用的莫尔斯电码自动发生器　　卫小鲁（ＢＨ７ＰＣＫ）
年误差小于１分钟的电子钟　　刘作新
古老与现代科技的结合——辉光电子管时钟　　胡金祥
遥控调光无极限点亮台灯每一天　　胡康
硬盘时钟实作手记　　周正华
美观与实用的结合——能“变频”显示的电子钟台灯　　胡康
断电后还能运行的多时段开关定时器　　秦新月
Ｍｉｃｒｏｃｈｉｐ推出低休眠电流的ｎａｎｏＷａｔｔ　ＸＬＰＴＭ系列单片机　　资料室
实用电路制作为电动车铅酸电池充电器加个智能定时插座　　李胜
简单有效的ＬＥＤ照明驱动电路　　董永军　　徐明奇　　张雪明
单颗ＬＥＤ大功率手电筒的制作　　吴晓燕
用ＧＳＭ短信遥控模块制作家居安防报警器　　苏林　　许岩
单线进出多功能电子开关自制方案　　杜灿鸿
巧用３１５ＭＨｚ收发模块制作简易无线鼠标　　刘亮
８×３２　ＬＥＤ点阵电子钟的制作　　叶士良
功率三极管封装图说　　吴红奎
数码相框也能自己做　　张彬杰
一款实用的煤气报警器电路　　张全威
普通饮水机的“节电、健康化”改造　　滕今朝
适合听力障碍朋友使用的闪光电子门铃和闪光电子闹钟　　梁政
精致的ＭＰ３音频转发器　　任杰
实用的数字式温湿度测量电路　　苏林　　魏五星
利用定时模块制作定时开关插座　　徐江伟
０～３０Ｖ可调电源的制作　　叶士良
简单实用的电脑遥控接收器　　潘邦文
维修帮手学修电磁多功能泡茶炉　　林芝松
非接触式ＩＣ卡的维修　　施红武
巧换手机电池芯　　刘福胜
自己动手检修微型无线遥控玩具汽车的小故障　　韩军春
电动车无刷电机控制器基本原理及维修要点　　贲礼进
格兰仕微波炉维修三例　　陈清友
自己动手修电动车充电器　　段丽红　　张兰家
防止紫砂饭煲紫砂胆易裂的有效方法　　黄大立
妙用ＥＴ５２１Ａ示波表检测行输出变压器　　董灵江
实测关键点快速检修诺亚舟　　韩军春
因消磁电阻损坏而引起的彩显故障维修二例　　郭学提
自己动手检修抽油烟机　　王绍华
笔记本电源适配器检修　　闽溯　　倪耀成
自己动手检修微波炉　　韩军春　　宋海红
用伊万ＥＴ５２１型示波表检修彩电疑难故障　　雷钟
自制吸锡电烙铁头　　孙永峰
电磁炉的故障检修四例　　孙洋
尚朋堂电磁炉维修实例　　杨舟成
怎样对付虚焊　　李法资　　段丽红
问与答
问与答
问与答
问与答
问与答
问与答
初学者园地电子制作必备技能焊接其实并不难　　张晓东
适合初学者的印制电路板制作方法　　张晓东
选对“洞洞板”焊电路　　江肖
电子ＤＩＹ实用技巧集锦　　张晓东
简单实用的熔断器监测电路　　茅凌云
零起步学无线电收发从矿石收音机认识谐振　　门宏
从等幅波发射机认识振荡与发射　　门宏
从高频信号发生器看调幅信号的发射与接收　　门宏
调频信号的发射与接收　　门宏
数字信号的发射与接收　　门宏
与初学者谈谈焊接用料　　张晓东
更具活力的ＢＥＡＭ机器人　　王宇航
元件小知识电容器——摘自《从零起步学电子》
自制一款有趣的激光传声器　　甯青松　　杨振　　马小龙
自制固态继电器　　任杰
适合初学者制作的５Ｗ线性电源　　ｙｅａｈ
常用元器件的识别与使用小小电阻学问大　　张晓东
活动报道江苏省业余无线电应急通信演练成功举办　　陈方（ＢＡ４ＲＣ）